Proceedings of the Conference on the Impacts of Intensive Harvesting. Fredericton, N.B. January 22, 1990

Compiled by M. K. Mahendrappa, C. M. Simpson, and G. D. van Raalte

Procédé de la conférence sur les impactes de la récolte intensive. Fredericton, N-B. le 2[illegible]nvier, 1990

Compilé par M. K. Mahendrappa, C. M. Simpson et G. D. van Raalte

Forestry Canada Forêts Canada

Canada

Forestry Canada

Forestry Canada is the main focus for forestry matters in the federal government. It provides national leadership through the development, coordination, and implementation of federal policies and programs to enhance long-term economic, social, and environmental benefits to Canadians from the forest sector.

The Department is a decentralized organization with six regional forestry centres, two national research institutes, and seven regional sub-offices located across Canada. Headquarters is located in the National Capital Region.

In support of its mandate, Forestry Canada carries out the following activities:

- Administers forest development agreements negotiated with the provinces
- Undertakes and supports research, development, and technology transfer in forest management and utilization.
- Compiles, analyzes, and disseminates information about national and international forest resources and related matters.
- Monitors disease and insect pests in Canada's forests.
- Provides information, analyses, and policy advice on economics, industry, markets, and trade related to the forest sector.
- Promotes employment, education, and training opportunities in the forest sector.
- Promotes public awareness of all aspects of the forest sector.

The Department interacts regularly with provincial and territorial governments, industry, labor, universities, conservationists, and the public, through such bodies as the Canadian Council of Forest Ministers, the Forest Sector Advisory Council, the Forestry Research Advisory Council of Canada, the Canadian Forest Inventory Committee, the Canadian Committee on Forest Fire Management, the Canadian Interagency Forest Fire Centre, and regional consultative committees. The Department is also active in international forestry agencies, such as the International Union of Forest Research Organizations and the Food and Agriculture Organization, as well as in technical and trade missions.

Forêts Canada

Forêts Canada est l'organisme principal en matière de foresterie à l'intérieure du gouvernement fédéral. Chef de file sur le plan national, il assure la préparation, la coordination et la mise en oeuvre des politiques et programmes fédéraux et environnementaux à long terme offerts aux Canadiens par le secteur forestier.

Le ministère est une organisation décentralisée: six centres de foresterie régionaux, deux instituts de recherche nationaux ainsi que sept sous-bureaux régionaux sont répartis dans tout le Canada. Le siège social est établi dans la région de la Capitale nationale.

Pour remplir son mandat, Forêts Canada assume les tâches suivantes:

- il administre les accords de développement forestier conclus avec les provinces
- il entrepren et appuie la recherche, la mise au point et le transfert technologique dans le domaine de la gestion et de l'utilisation des forêts
- il rassemble, analyse et diffuse de l'information sur les ressources forestières nationales et internationales et les domaines connexes
- il fait des relevés des maladies et des insectes ravageurs des forêts canadiennes
- il fournit de l'information, des analyses et des conseils (quant aux politiques) concernant l'économie, l'industrie, les marchés et le commerce reliés au secteur forestier
- il favorise les occasions d'emploi et de formation universitaire et technique dans le secteur forestier
- il encourage les Canadiens à prendre conscience de tous les aspects du secteur forestier.

Le ministère entretient des rapports sur une base régulière avec les gouvernements provinciaux et territoriaux, l'industrie, le monde du travail, les universités, les environnementalistes et le public par l'entremise d'organismes comme le Conseil canadien des ministres des Forêts, le Conseil consultatif du secteur forestier, le Conseil consultatif de la recherche forestière du Canada, le Comité de l'inventaire des forêts du Canada, le Comité canadien de gestion des incendies de forêt, le Centre interservices des feux de forêt du Canada et des comités consultatifs régionaux. Le ministère joue également un rôle actif dans des organismes internationaux de foresterie comme l'Union internationale des organisations de recherche forestière et l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture, de même qu'au sein de délégations de nature technique ou commerciale.

PROCEEDINGS OF THE CONFERENCE ON THE IMPACTS OF INTENSIVE HARVESTING

January 22, 1990

Compiled by M.K. Mahendrappa, C.M. Simpson and G.D. van Raalte

Forestry Canada - Maritimes Region
Fredericton, N.B.

1991

This work was supported by the Federal Panel on Energy R & D (PERD)

PROCÉDÉ DE LA CONFÉRENCE SUR LES IMPACTES DE LA RÉCOLTE INTENSIVE

le 22 janvier, 1990

Compilé par M.K. Mahendrappa, C.M. Simpson et G.D. van Raalte

Forêts Canada - Région des Maritimes
Fredericton (N.-B.)

1991

Ce travail a reçu l'appui du Groupe interministérielle de recherche et développement énergétiques (GRDE)

93-00898/

©Minister of Supply and Services Canada

Catalogue no. FO18-14/1990
ISBN 0-662-58138-S

Additional copies of this publication are available in limited quantities at no charge from:

Forestry Canada - Maritimes Region
P.O. Box 4000
Fredericton, New Brunswick
Canada E3B 5P7

(506) 452-3500

Copies or microfiches of this publication may also be purchased from:

Micromedia Ltd.
Place du Portage
165 Hôtel-de-Ville
Hull, Quebec
J8X 3X2

©Ministère des Approvisionnements et Services Canada

N° de catalogue FO18-14/1990
ISBN 0-662-58138-S

Un nombre restreint d'exemplaires de cette publication sont disponibles auprès de:

Forêts Canada - Région des Maritimes
C.P. 4000
Fredericton (Nouveau-Brunswick)
Canada E3B 5P7

Des copies ou microfiches de cette publication sont en vente chez:

Micromédia Ltée
Place du Portage
165, rue Hôtel-de-Ville
Hull (Québec)
J8X 3X2

TABLE OF CONTENTS

INTRODUCTORY COMMENTS
T. Sterner 5

OVERVIEW
Maxwell McCormack 8

EFFECTS OF WHOLE-TREE HARVESTING ON LONG-TERM SITE PRODUCTIVITY - SOME SWEDISH VIEWS
Folke Andersson 35

INTENSIVE HARVESTING AT WEYMOUTH POINT, MAINE: AN EVALUATION OF WATERSHED AND MICROSITE IMPACTS
C. Tattersall Smith 42

NUTRIENT DEPLETION: A PROBLEM FOR FORESTS IN NEW ENGLAND AND EASTERN CANADA?
James W. Hornbeck 56

ESTABLISHMENT REPORT ON THE IMPACTS OF INTENSIVE HARVESTING ON SITE: A LYSIMETER STUDY
M.K. Mahendrappa 68

CONCLUDING REMARKS
Erik Wang 97

TABLE DES MATIÈRES

ALLOCUTION D'OUVERTURE
T. Sterner 5

Maxwell McCormack 8

LES EFFETS DE LA RÉCOLTE D'ARBRES ENTIERS SUR LA PRODUCTIVITÉ LONG TERME D'UN SITE - LE CAS DE LA SUÈDE
Folke Andersson 35

EXPLOITATION INTENSIVE À WEYMOUTH POINT (MAINE) : ÉVALUATION DES INCIDENCES SUR LE BASSIN VERSANT ET LA NICHE ÉCOLOGIQUE
C. Tattersall Smith 42

ÉPUISEMENT DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS : LE PROBLÈME EST-IL PROPRE AUX FORÊTS DE NOUVELLE-ANGLETERRE ET DE L'EST DU CANADA?
James W. Hornbeck 56

COMPTE RENDU DES INCIDENCES DE L'EXPLOITATION INTENSIVES SUR LES SITES : ÉTUDE LYSIMÉTRIQUE
M.K. Mahendrappa 68

ALLOCUTION DE CONCLUSION
Erik Wang 97

INTRODUCTORY COMMENTS

T. Sterner
Director - Research Program
Forestry Canada - Maritimes Region

It is a pleasure to welcome, on behalf of Forestry Canada - Maritimes Region, the 150 or more representatives of industry, government, private woodlot owners, environmental groups, and the media. The magnitude of this turn-out is certainly rewarding to us and is a good indicator of the interest in the topic before us today - the potential effects of intensive harvesting on the quality of forest sites.

As stated in the letter of invitation, this is intended as an information session. The focus is on information.

Over the past decade, the proportion of harvesting by the "whole-tree method" has increased dramatically in the Maritimes. This increase has come about for many reasons, including:

- the desire for greater fiber recovery from whole-tree chips;
- biomass harvesting for energy;
- the attractiveness of reduced site preparation and planting costs.

I am sure there are also many other reasons that may be unique to a particular operation.

Regardless of the reasons, the amount of fiber harvested by this method (that is, the

ALLOCUTION D'OUVERTURE

T. Sterner
Directeur - Programme de recherches
Forêts Canada - Région des Maritimes

Au nom de Forêts Canada - Région des Maritimes, je suis heureux d'accueillir les quelques 150 participants qui représentent l'industrie, les administrations publiques, les propriétaires de boisés privés, les groupes environnementaux et les médias. Le grand nombre de personnes présentes couronne nos efforts et montre clairement l'intérêt du sujet dont nous sommes saisis aujourd'hui: les effets possibles de l'exploitation intensive sur la qualité des sites.

Comme il était mentionné dans l'invitation, il s'agit d'une séance d'information. L'accent sera donc mis sur l'information. Au cours de la dernière décennie, la superficie de forêts exploitées par arbres entiers a augmenté considérablement dans les Maritimes. Cette croissance est attribuable à de nombreux facteurs, entre autres:

- la volonté de récupérer plus de fibre à partir des copeaux d'arbres entiers;
- la récolte de la biomasse pour produire de l'énergie;
- l'attrait d'une diminution de la préparation du site et des frais de plantation.

Je suis convaincu que chaque exploitant a aussi ses propres raisons d'adopter cette méthode.

Quels que soient les motifs invoqués, la quantité de fibre ainsi recoltée (à savoir

total removal of all material - foliage, branches, and tops) has increased significantly. At the same time, concern has been raised by foresters, scientists, and others regarding the effect of this nearly total removal of biomass - particularly, those portions of the tree containing the most nutrients, i.e., foliage and small branches - on the long-term sustainability of sites harvested in this manner.

Research into this area has been undertaken in various countries, including Sweden, New Zealand, Australia, and the U.S. Last year, Forestry Canada - Maritimes Region initiated a major study to address this issue. The effort is funded in part through the inter-departmental Panel on Energy Research and Development (PERD) and the Energy from the Forest (ENFOR) program. Very appropriately, since this program encourages the use of "waste wood" for energy. I say very appropriately because, on the one hand, we encourage the use of waste and, on the other, the Government of Canada, and Forestry Canada particularly, is very concerned about the long-term sustainability of the land. We are committed to the principle of sustainable yield and development. Because of this concern, and what we felt was a general lack of information in this area, we have put together this information session. Our invited speakers are experts in their fields of soil, plant ecology, hydrology, and nutrient cycling. We have brought them together to share with us their experience and views on this matter.

l'enlèvement au complet de tous les matériaux - feuillage, branches et cimes) a augmenté de façon importante. En même temps, les forestières, scientifiques et autres spécialistes se sont montrés préoccupés par cette récolte presque totale de la biomasse - spécialement les parties de l'arbre contenant le plus d'éléments nutritifs, c.-à-d. le feuillage et les petites branches - sur la viabilité à long terme des sites exploités de cette façon.

Différents pays, dont la Suède, la Nouvelle-Zélande, l'Australie et les États-Unis, ont entrepris des recherches dans ce domaine. L'an dernier, Forêts Canada - Région des Maritimes a lancé une importante étude sur cette question. Ces travaux sont financés en partie par le Groupe interministériel de recherche et d'exploitation (GRDE) et le Programme de l'énergie forestière (ENFOR), ce qui est très louable, étant donné que ce programme favorise l'utilisation des déchêts de bois comme source d'énergie. Ce projet est aussi valable parce que, d'une part, nous encourageons l'utilisation des déchêts et, d'autre part, parce que le gouvernement du Canada, en particulier Forêts Canada, est très préoccupé par la viabilité à long terme des terres. Nous souscrivons au principe du rendement soutenu et du développement durable. Nous avons organisé la présente séance d'information car cette question nous préoccupe tous et parce que nous croyons qu'il y a un manque généralisé d'information dans ce domaine. Nos conférenciers invités sont des experts dans le domaine des sols, de l'écologie végétale, de l'hydrologie et du cycle des éléments nutritifs. Nous les avons rassemblés pour qu'ils partagent avec nous leur expérience et leur façon de voir cette question.

I hope that what we are calling an information session, will truly be that - a sharing of information on a topic where there are a variety of views and opinions.

We approach this in the context that it is a relatively new area with much to learn and experience.

For most of us, there will not be any "final" answers today, but I do feel that by the end of the day we will all be better informed and will have a better foundation on which to discuss and investigate this important issue. Thank you for coming. I look forward to a good session.

J'espère que ce que nous appelons une séance d'information en sera vraiment une, à savoir un échange de renseignements sur un sujet ou les avis sont variés.

Notre approche découle du fait qu'il s'agit d'un domaine relativement nouveau ou il y a beaucoup à apprendre et à découvrir.

La plupart d'entre nous ne trouveront pas de réponse "définitive" aujourd'hui. Toutefois, je crois qu'à la fin de la journée, nous serons tous mieux informés et disposerons de bases plus solides pour discuter et étudier cette question importante. Merci d'être venus et bonne séance!

DR. MAXWELL MCCORMACK

College of Forest Resources
Nuttinghall
University of Maine
Orono, Me

It is interesting to look and see so many people here. It is my position in starting off to make some general comments and share some perspectives with you, and then we will look to a very distinguished group of speakers to provide some specific data and factual information as we go through the day. Later on, we can all look forward to a good discussion session.

We should start off with a basic assumption. At least, it is an assumption that I have made in coming to this conference. I assume that we are dealing with operational situations that are intended to produce a sustained supply of wood (Figure 1). You may say of course, that's why we are here. I put this in as a qualifier because I recall a few years ago over in Maine, when the interest in biomass harvesting was on the rise, that we had an all day conference, part of which involved a group of operators who had been involved in biomass harvesting. A question was raised about whether they could actually make money on a steady basis with biomass harvesting and they started to describe situations where they had actually come out of their operations in pretty good shape. One was clearing an area for a shopping centre, another was clearing an area for a skeet range, another was for a pet cemetery, and so on. We went off on the wrong track.

DR. MAXWELL McCORMACK

College of Forest Resources
Nuttinghall
Université du Maine
Orono, Maine

Il est agréable de regarder autour et de voir autant de monde. Pour commencer, je voudrais y aller de quelques généralités et ainsi situer le débat. Par la suite, nous aurons l'occasion d'entendre d'éminents orateurs qui nous fourniront des données et des faits précis tout au long de la journée. Plus tard, nous pourrons tous participer à une séance de discussion.

Permettez-moi d'abord d'y aller d'une hypothèse de départ. Du moins, il s'agit d'une hypothèse que j'ai échafaudée en chemin. Je suppose que nous avons affaire à des situations d'exploitation qui visent à produire un approvisionnement soutenu de bois (figure 1). Vous vous dites, bien sûr, sinon nous ne serions pas ici. Si j'apporte cette nuance, c'est que je me rappelle qu'il y a quelques années, dans le Maine, alors que l'intérêt pour l'exploitation de la biomasse était en plein essor, il y eut une conférence d'une journée où il y avait entre autres, un groupe d'exploitants qui s'étaient engagés dans cette voie. Lorsque la question fut soulevée, à savoir s'il était possible de faire de l'argent de façon constante en s'adonnant à l'exploitation de la biomasse, ceux-ci se mirent à décrire comment leurs opérations leur avaient permis de s'en tirer avec des profits substantiels. L'un d'eux avait déblayé un terrain pour permettre la construction d'un centre commercial, un autre avait fait de même pour l'aménagement d'un terrain de tir aux pigeons, dans un autre cas, il était question d'un cimetière pour

Assumption
Hypothèse

- Operational forest production for sustained supply of wood
- Production forestière operationnelle en vue d'un approvisionnement soutenu de bois.

Figure 1.

Today, I hope we are on the right track with my basic assumption. Now, to take this a step further, and comment about how I have seen forestry thinking evolve over the years: we tend to look all in one direction, then change and look in the other direction. An example of this, over time, has been natural regeneration. After that, we looked at artificial regeneration, and now we're back looking at natural regeneration. Or, we talk about clear cutting versus some other system, and then clear cutting again. In fact, forestry practices present an array of possibilities which go between the extremes (Figure 2). So, I think today we are dealing with that kind of situation. As we talk about the affects of intensive harvesting, we need to think in terms of a variety of conditions and a variety of levels where that will take place and, at the same time, look at the operational realities. We need to take the scientific information and relate it to the actual operational frame work so that we can address whatever is identified as a cause for concern, or a risk. Various conditions that are defined by the research community can be affected by operations. We should identify practices that can reduce the impacts and, in some cases,

animaux de compagnie et ainsi de suite. Nous nous étions fourvoyés.

Aujourd'hui, j'espère être sur la bonne voie avec mon hypothèse de départ. Alors, pour approfondir un peu plus la chose, permettez-moi de faire un commentaire sur ma perception de l'évolution de la pensée forestière au cours des années : nous avons tendance à tous regarder dans la même direction, puis à tourner la tête et à tous regarder dans l'autre sens. La régénération naturelle en a fourni un bon exemple dernièrement. Après celle-ci, nous nous sommes tournés vers la régénération artificielle pour ensuite revenir à la régénération naturelle. Il en est de même de la coupe rase qui fut pratiquée pour être abandonnée en faveur d'un autre système avant d'être adoptée à nouveau. En fait, les pratiques forestières présentent une foule de possibilités entre les extrêmes (figure 2). Je crois que nous avons affaire aujourd'hui à une situation du même genre. En nous penchant sur les effets de l'exploitation intensive, nous devons tenir compte d'une foule de circonstances particulières et des différents niveaux d'exploitation, sans perdre de vue les contraintes inhérentes aux opérations. Nous devons prendre l'information scientifique et la mettre en

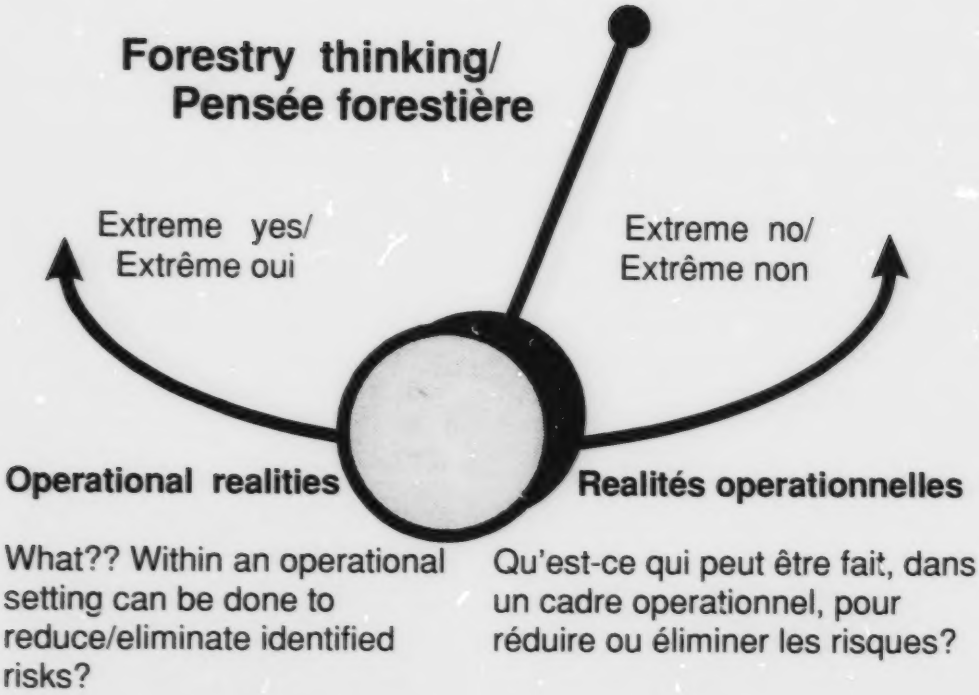


Figure 2.

do what is necessary to eliminate detrimental impacts.

All this raises some interesting questions. As I interact with the industry people over in Maine and we talk about this topic, almost always the following question comes up: What is intensive harvesting? And it can be all the way from the extreme of intensively removing everything we can get our hands on to, coming from my interest in regeneration, intensively doing everything we can to guarantee we have an established stand ready to grow on

rapport avec le cadre réel des opérations, de manière à pouvoir faire face à tout ce qui pourrait constituer un risque ou une source de préoccupation. Il y a différentes conditions, telles que définies par les milieux de la recherche, qui peuvent être touchées par les opérations. Nous devrions trouver des méthodes susceptibles de réduire les effets constatés, et dans certains cas, faire ce qui s'impose pour éliminer toute répercussion néfaste.

Tout ceci soulève quelques questions intéressantes. Lorsque, dans mes rencontres avec les gens de l'industrie, chez moi, dans le Maine, nous abordons ce sujet, la question suivante revient presque immanquablement : qu'est-ce que l'exploitation intensive? Cela peut aller, à l'extrême, de l'enlèvement intensif de tout ce qui nous tombe sous la main, jusqu'à, vu l'intérêt que je porte à la régénération, faire tout notre possible

Mid 1980's Literature screening

Selected 2126 titles and abstracts

Stand-out gaps in the literature (northeast):

1. Nutrient cycling in commercial spruce -fir forests

2. Impacts of short rotation intensive culture

3. Responses to nutrient supplements

4. Post harvest site amelioration & reclamation

5. Regeneration pattern & vegetation dynamics

6. Analysis of biomass-induced silvicultural treatments throughout a planned rotation

Milieu des années 80
Tri dans la documentation

Choix de 2126 articles et résumés

Lacunes de la documentation (nord-est) :

1. Mouvement cyclique des éléments nutritifs dans les forêts d'intérêt commercial de sapins et d'épinettes

2. Effets de la culture intensive à courte durée de renouvellement

3. Réponses aux compléments nutritifs

4. Amélioration et mise en valeur d'un site après la récolte

5. Modèles de régénération et dynamique de la végétation

6. Analyse des traitements sylvicoles relatifs à l'exploitation de la biomasse pour la durée de renouvellement prévue

Figure 3.

that sight when we are through with the harvest. Then, of course, there are many conditions in between. I tend to look at it from the regeneration end rather than the harvesting end.

pour assurer qu'il y ait un peuplement établi, prêt à croître sur le site après la récolte. Il y a évidemment de nombreuses autres solutions entre les deux. J'ai plutôt tendance, pour ma part, à privilégier l'aspect régénération au détriment de l'aspect récolte.

I say that with some reservations because I remember a few years ago, when we had a IUFRO group touring through here, we were sitting here in the Fredericton area and some of us, who were biologists, were talking about the design of the machinery used in harvesting. The discussion developed to the point where we were fairly critical about the design of the machinery. It was designed by a group of engineers figuring out how much wood they could get roadside in the most efficient manner and they didn't really care what they left for the regeneration foresters. It turned out that a couple of engineers at the other end of the table had been involved in designing the machinery we were talking about. The outcome of that discussion was that probably they should have considered the biological factors when they designed the equipment and they admitted that at that time they had not.

Je dois cependant faire certaines réserves, puisque je me rappelle qu'il y a quelques années, alors que je visitais la région avec un groupe de l'IUFRO, nous nous étion arrêtés ici aux alentours de Fredericton et notre petit groupe de biologistes se mit à discuter de la conception de la machinerie d'abattage utilisée. Au fil de la discussion, nous en vînmes à exprimer des critiques sévères à l'endroit de ces ingénieurs qui n'avaient pensé qu'à sortir le plus de bois possible de la façon la plus efficace, sans tenir le moindre compte de ce qu'ils laissaient aux agents forestiers chargés de la régénération. Le hasard voulait qu'il y eût, à l'autre bout de la table, quelques ingénieurs qui avaient travaillé à la conception de la machinerie dont nous parlions. À la fin de la discussion, ils admirent qu'ils auraient probablement dû tenir compte des facteurs biologiques lors de la conception de ces machines et qu'ils n'y avaient pas songé à l'époque.

As I thought about this topic before coming over to this meeting, I recalled a project that we had worked on through the mid-1980s that, for a variety of reasons, never came to full completion. An extensive literature search was conducted on biomass harvesting (Figure 3). The number of citations screened exceeded 4000, a big number. A group of us then reviewed them in an attempt to narrow down the list to those that had some application to northeastern North America and, in particular, the spruce-fir forest. At that time,

Comme je pensais à tout cela avant de venir ici, je me suis rappelé un projet auquel nous avions travaillé au milieu des années quatre-vingts, et qui n'a jamais été mené à terme pour diverses raisons. Il s'agissait d'effectuer une revue exhaustive de toute la documentation scientifique en matière d'exploitation de la biomasse (figure 3). Il y avait plus de 4 000 titres à examiner, ce qui est considérable. Un petit groupe se mit à les scruter afin d'élaguer cette liste pour ne conserver que ce qui s'appliquait au nord-

we selected from that massive information 2000+ titles and abstracts. Among several things, we were able to identify a list of voids in the literature for the northeast. And I thought that these points would be worth keeping in mind as we entered into our discussions here today:

est de l'Amérique du Nord et plus particulièrement aux forêts de sapins et d'épinettes. Nous sommes alors parvenus à tirer de cette masse d'informations plus de 2 000 articles et résumés. Entre autres choses, nous avons été en mesure de détecter les lacunes qui apparaissaient dans la documentation scientifique pour ce qui est du Nord-Est. Et j'ai jugé bon de faire valoir ces quelques éléments avant d'entrer dans le vif du sujet.

One of those was the need for more specific knowledge on nutrient cycling in commercial operations, the operating spruce-fir forest. I think everyone is aware that a sizeable volume of information on nutrient cycling relative to forestry operations within forest ecosystems has been developed over the last several years. But, when we attempt to focus on cases and projects that specifically address the spruce-fir forests of northeastern North America, there are not many specific examples that assist operational people in trying to evaluate exactly what they are doing.

Entre autres éléments, il y avait la nécessité d'acquérir des connaissances plus précises sur les mouvements cycliques des éléments nutritifs dans les exploitations commerciales de sapins et d'épinettes. Nous sommes tous, je crois, au courant de la quantité considérable d'informations qui ont été recueillies au cours des dernières années sur le mouvement cyclique des éléments forestiers. Mais si l'on s'attarde aux cas et aux projets qui touchent spécifiquement les forêts de sapins et d'épinettes du nord-est de l'Amérique du Nord, on trouve peu d'exemples précis qui puissent aider les exploitants à évaluer correctement ce qu'ils font.

Another question that came up was specific impacts of short rotation intensive culture (there's that word intensive again).

As we try to look at shorter rotations, the question which arises is what effect is that going to have on the whole system? Because we certainly are looking at shorter rotations rather than longer rotations. The interest continues to hang in on the fringes of what is going on in terms of growth responses and how we deal with adding nutrient supplements. There has been a recent surge of interest in this area. What other things can be done fol-

Il y avait aussi la question des effets précis de la culture intensive (encore ce mot) à courte durée de renouvellement. Si l'on considère le raccourcissement de la durée de renouvellement, la question qui se pose est celle des effets que cela entraînera sur le système dans son ensemble. Parce qu'il est évident que nous préférons les rotations courtes aux longues. Ce qui nous intéresse serait surtout de savoir ce qui se produit en matière de croissance et comment procéder pour ajouter des compléments nutritifs. On a assisté dernièrement à un regain d'intérêt dans ce domaine. Que peut-on faire

Harvesting systems (in general)
Systèmes d'exploitation (en général)

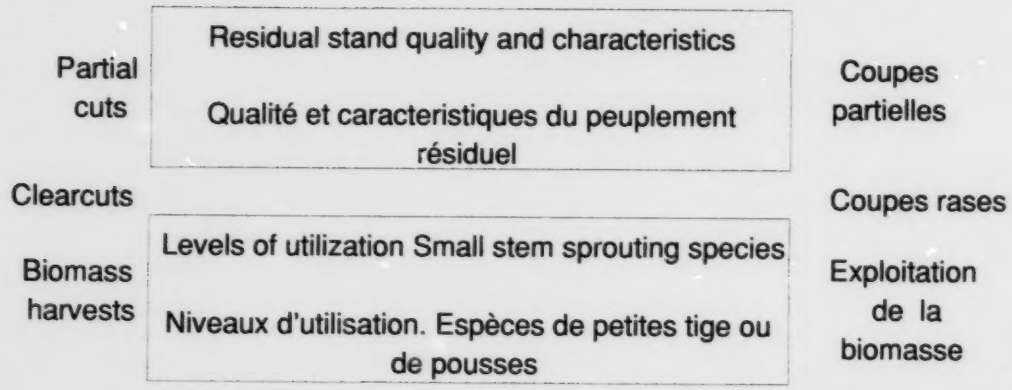


Figure 4.

lowing intensive harvesting or in the case of biomass harvesting? What can we do after the harvest to improve the site or put it back in shape? Often, a harvesting system accomplishes harvesting objectives, but we end up with a condition that is not the most desirable from the viewpoint of regeneration foresters. Especially, when we look at natural regeneration: What does this harvesting system do to regeneration patterns? How much does the system leave us relative to those patterns? And what do we do with this harvesting system that will affect the vegetation dynamics after harvesting?

d'autre après une exploitation intensive ou dans le cas de l'exploitation de la biomasse? Que peut-on faire après la récolte pour améliorer un site ou pour le remettre sur pied? Souvent, un système d'exploitation atteint ses objectifs commerciaux, mais l'on se retrouve devant une situation qui est loin de faire l'affaire des agents forestiers chargés de la régénération. La chose est particulièrement évidents lorsque l'on considère la régénération naturelle : qu'est-ce qu'un mode d'exploitation donné fait aux modèles de régénération? Qu'est-ce qu'un mode d'exploitation donné nous laisse en ce qui a trait à ces modèles? Et que faire des systèmes d'exploitation qui nuisent à la dynamique de la végétation après la récolte?

As some of you know, post-harvest vegetation dynamics that have become the major focus of my world in recent years. We have learned that there is a lot more going on there than we appreciated in the past. Harvesting systems are the frontline in managing the vegetation dynamics following harvest. I don't want

Comme vous le savez sans doute, du moins certains d'entre vous, la dynamique de la végétation après la récolte est devenue le point central de mes travaux au cours des dernières années. Nous avons appris qu'il se produit beaucoup plus de choses que nous ne le pensions par le passé. Les systèmes d'exploitation

to get into a discussion of my work with herbicides, but I think it is important to note at this point that it is the conditions resulting from harvesting systems that determine, to a great extent, whether or not we will need to make an early entry using herbicides. And, if we must spray, harvesting systems determine when we make that entry.

constituent le front avancé de l'aménagement de la dynamique de la végétation après la récolte. Je ne veux pas m'étendre sur mes travaux au sujet des herbicides, mais je crois qu'il importe de signaler ici que ce sont les conditions produites par les systèmes d'exploitation qui déterminent dans une large mesure si, oui ou non, il sera nécessaire de procéder à une pénétration hâtive à l'aide d'herbicides. Et s'il faut pulvériser, c'est le système d'exploitation qui détermine le moment opportun de le faire.

Another void in the literature, brought out by the list, was fairly complex but related to the need for an analysis of the biomass harvesting as it caused a need for silvicultural treatments through the rotation.

Une autre lacune que laissait voir la liste, était relativement complexe, mais avait trait en gros à la necessité d'une analyse de l'exploitation de la biomasse dans la mesure ou celle-ci nécessitait des traitements sylvicoles pendant toute la durée de renouvellement.

We are getting stands following biomass harvesting the like of which we have never experienced. Consequently, silvicultural thinking had to change regarding how we address the post-harvest conditions.

Les peuplements que nous obtenons à la suite de l'exploitation de la biomasse ne ressemblent à rien de ce que nous avions auparavant. Conséquemment, la pensée sylvicole s'est transformée en ce qui a trait à la façon dont nous faisons face aux conditions qui règnent après la récolte.

So, silviculturally, we must look at harvesting systems. First, in general, I tend to break them down into three distinct groups, looking at intensive harvesting, as well as biomass harvesting (Figure 4). The first breakdown is clearcuts, or partial cuts. Obviously, there is a distinct difference there. How do we enter a stand, how we deal with it, what are our options with regard to removing residues or redistributing residues? Biomass harvesting is a specific type of intensive harvesting in its own right. With both intensive and biomass harvesting, there are considerations that are unique to each. For example, with partial cuts, we must be

Donc, du point de vue de la sylviculture, nous devons nous attarder aux systèmes d'exploitation. D'abord, régle générale, j'ai tendance à les classer en trois catégories distinctes, en considérant l'exploitation intensive, ainsi que l'exploitation de la biomasse (figure 4). La première catégorie est celle des coupes rases, ou des coupes partielles. Évidemment, il y a ici une nette différence. Comment entrer dans un peuplement, comment le traiter, quels sont les choix qui s'offrent relativement à l'enlèvement ou à la redistribution des résidus? L'exploitation de la biomasse est en soi un type particulier d'exploitation intensive.

especially concerned about the quality of the residual stand, the condition in which we leave the residual trees, and the overall characteristics of that residual stand. We must consider how we move the products, how we move the residues around the site and off the site. We must do it in such a way that we can maintain the integrity of the residual stand. Now all of us who work with spruce-fir forest in this region of the world recognize that this is easier said than done. In our research unit, we are now in the process of evaluating our long-term thinning studies. Long, in this case, meaning ten years since we imposed the thinning treatments. What we are learning is that not much happens except that, the more we thin in older stands, or the older the stands are where we imposed a thinning treatment, the more wood was in unusable forms, lost to deterioration of the residual trees, disruption of root systems, and overall breakup of the stand. This was not a surprise, but it substantiated our beliefs in terms of timing of entry relative to the limitations as a stand develops in age and the size of the material that must be removed from the stand. Others in our research unit have looked at interactions of partial cuts in biomass harvesting. I think it is now common knowledge, but we found that some of the original thinking about the smaller and more mobile machines causing less damage to the residual stand was, in fact, completely wrong. Depending on operator competence, it turned out that there was more disruption of the residual stand with the smaller, more mobile, machinery.

Que ce soit avec l'un ou l'autre de ces systèmes d'exploitation, il y a des facteurs propres à chacun à considerer. Par exemple, avec les coupes partielles, nous devons accorder une attention toute spéciale à la qualité du peuplement résiduel, à l'état dans lequel nous laissons les arbres qui restent et aux caractéristiques globales du peuplement résiduel. Nous devons tenir compte de la façon dont nous transportons les produits, de la façon dont nous deplaçons les résidus sur le site et à l'extérieur du site. Nous devons le faire de manière à assurer l'intégrité du peuplement résiduel. Ceci dit, tous ceux d'entre nous qui avons affaire aux forêts de sapins et d'épinettes propres à cette région du monde, savons que c'est plus facile à dire qu'à faire. Dans notre section de recherche, nous sommes en train d'évaluer nos études d'éclaircies à long terme. Dans ce cas precis le long terme équivaut à dix ans à partir des traitements d'éclaircie appliqués. Nous apprenons surtout qu'il ne se passe pas grand chose, sinon que plus nous éclaircissons les peuplements âgés, ou plus les peuplements qui subissent des éclaircies sont âgés, plus il y a de bois inutilisable, de déterioration des arbres qui restent, de perturbation des systèmes radiculaires et de délabrement généralisé du peuplement. Loin de nous surprendre, cela a confirmé nos hypothèses sur le moment propice à l'intervention, compte tenu des contraintes que représentent l'âge avancé d'un peuplement et la taille du matériel à enlever du peuplement. D'autres chercheurs du groupe se sont penchés sur les répercussions des coupes partielles pour l'exploitation de la biomasse. Je crois qu'il s'agit maintenant d'un lieu commun, mais nous avons découvert que l'ancienne croyance voulant que les machines plus légères et plus mobiles causent moins de

Development of harvesting				Évolution du mode d'exploitation.		
Equipment	Method	Residues	Time/ Temps	Équipement	Méthode	Résidus
Ax, crosscut, Horses, Oxen,	Logs and bolts	Tops, limbs, bark, etc	**Before/ Avant 1940**	Hache, tronçonneuse, chevaux, boeufs, cours d'eau	Billes et grumes	Cimes, branches, écorce, etc.
Chainsaw, Crawler (skidder) trailers (Forwarder)	Logs, bolts some treelength	Tops, limbs	**1960**	Scie à chaine, débusqueur, remorques (débusqueuse)	Grumes, billes, un peu de fûts entier	Cimes, branches
Chainsaw, shears skidder feller- buncher Feller- Forwarder	Tree length Full- tree	Some	**1970**	Scie à chaine, cisaillements, cable-grue, abatteuse-empileuse, abatteuse-débusqueuse	Fûts entiers, arbres entiers	Un peu
Feller-Buncher Grapple skidder Feller f orwarder chippers	Tree length Full- tree	Not much to none	**1980**	Abatteuse-empileuse, cable-grue à chariot élévateur, abatteuse-débusqueuse, coupeuse-déchiqueteuse	Fût entier, arbre entier	À peine ou pas du tout.

(Adapted from Ben Hoffman manuscript, April 1988)
(Adaptation du manuscript de Ben Hoffman, avril 1988).

Figure 5.

dommages aux peuplements résiduels, était totalement fausse. Tout dépendant de la compétence de l'opérateur, il s'est révélé que le peuplement résiduel était plus perturbé par la machinerie légère, plus mobile.

Currently, there is a strong trend toward using biomass harvesting as a site preparation treatment when artificial regeneration is to follow. When you talked to someone from Scott Paper Company a few years ago and asked what they were doing for site preparation, they would say that their site preparation was biomass harvesting. However, with that different level of utilization came a complication which we had not experienced before. Though they took all the material off the site, so that, in the first year, it was clean and open, by the end of year one or two following harvest there was a different world. In the process of that very thorough, intensive harvesting, taking small stems of sprouting species which had not been removed before, the site ended up with a re-sprouting condition which had never before been experienced. A worst case was where the very dense sprouting was beech; poor quality trees with beech bark disease comprised the most prolific sprouts in such harvests. Not only did we have the dense total coverage of sprouts, but we were increasing the proportion of vegetation that was in this undesirable category, the beech with beech bark disease. So, those types of things figure in.

À l'heure actuelle, on a de plus en plus tendance à utiliser l'exploitation de la biomasse en guise de traitement de préparation d'un site en vue d'une régénération artificielle. Il y a quelques années, si vous demandiez à quelqu'un de la société papetière Scott ce que celle-ci faisait pour préparer un site, on vous répondait qu'elle avait recours à l'exploitation de la biomasse. Cependant, ce nouveau niveau d'utilisation amenait une complication sans précédent. Bien que toute la matière ait été enlevée du site, celui-ci étant parfaitement nettoyé et dégagé la première année, le tableau était totalement différent un ou deux ans après la coupe. Avec ce processus d'exploitation intensive, très complète, où l'on prenait les petites tiges qui n'étaient pas enlevées auparavant, on s'est retrouve devant un recru tel qu l'on n'en avait jamais vu jusque là. Le pire était lorqu'il s'agissait d'un recru très dense de hêtres; les pousses les plus prolifiques étaient alors atteintes de la maladie corticale du hêtre. Non seulement avions-nous une couverture de pousses très compacte, mais nous avions aussi augmenté la proportion de végétation indésirable, c'est-à-dire de hêtres malades. Il faut donc tenir compte de ce genre de choses.

A complication in long-term evaluations of harvesting systems is the evolution and constant change of size and design (Figure 5). We have "developed" from manual labor with oxen and horses to a variety of large complex machines. I have the im-

L'évolution et le changement constant de la taille et de la conception de la machinerie compliquent les évaluations à long terme des systèmes d'exploitation (figure 5). Nous avons "évolué" du travail manuel avec des boeufs et des chevaux

Harvesting systems (specifics)
Systèmes d'exploitation (particularités)

Site / Site

- quality & characteristics
  Qualité et caractéristiques du site

Harvesting system / Systéme d'exploitation

- Mechanics & layout
  machines et disposition
- Operator competance
  Compétence de l'opérateur

Season / Saison

- Ground site conditionsÉtat du sol, du site
- Tree conditions/ État des arbres

Disturbance / Perturbation

- Organic material conditions
  État de la matière organique
- Mineral soil mixing
  Mélange du sol minéral
- Ruts and standing water
  Ornières et eau stagnante
- Scouring / Nettoyage

Disposition of residues / Élimination des résidus

Microenvironments / Micro-environnement

Figure 6.

pression that we are going away from the larger machines to smaller machines, but they seem just as complex as ever. We have seen a lot of changes and I think this must be kept in mind. It is a bit of a frustration to me, as a researcher, to deal with this because, as we go across time, it is very difficult to take an intensively harvested area from a few years ago and relate it to one of today. It results in difficult comparisons. Again, looking at larger mechanically harvested clearcut areas across Maine, we see an outstanding example of this. It is the use of the now departed Beloit Tree harvester.

To this day, one can go across clearcuts back over the last 20 to 25 years and someone says "WOW! what happened here? This looks great, why can't we do this more often?" I stake my wallet on that harvest having been done by a Beloit Harvester. And, if you go out there in a similar situation, people look at it and again they say "WOW!", but this time they are jumping up and down with excitement about what is there. The odds are that it was a Beloit Harvester in the winter. And that pattern is very consistent across the north woods in the State of Maine. That, I think, is a dramatic example of what I am talking about in terms of the interactions and the way conditions have developed over time. And one has to wonder a bit about how all that happens because, in the process, the Beloit is gone. As you looks back and analyze this, again you find the situation of engineers versus biologists versus what really happens operationally. Taking this one step further, looking at specifics that need to be

pour en arriver à toute une gamme de grosses machines fort complexes. J'ai l'impression que nous délaissons les plus grosses machines pour nous tourner vers de plus petites, mais elles semblent plus complexes que jamais. Nous avons été témoins de nombreux changements et je crois qu'il faut en tenir compte. Il est un peu frustrant pour moi, en tant que chercheur, de faire face à cette situation parce qu'à mesure que le temps passe, il devient très difficile de comparer une région ayant subi une exploitation intensive quelques années auparavant, avec une autre exploitée actuellement. Cela rend les comparaisons plus difficiles. Là encore, nous en voyons un exemple très probant dans le région du Maine ayant subi une coupe rase à l'aide de grosses machines.

Je pense à l'utilisation de l'engin combiné d'abattage-façonnage Beloit. Encore aujourd'hui, on peut se rendre dans des sites ou il y a eu des coupes rases il y a vingt ou vingt-cinq ans, et il y a toujours quelqu'un pour s'exclamer : "Mais que s'est-il passé ici? C'est formidable, pourquoi ne peut-on pas faire cela plus souvent?" Je parierais ma chemise que la récolte a été effectuée à l'aide d'un engin combiné Beloit. Vous retournez sur un site analogue et en plus d'exprimer leur admiration, les gens trépignent d'excitation devant ce qu'ils voient; et bien vous avez tout à parier qu'il s'agissait d'un combiné Beloit utilisé en hiver. Il s'agit d'une situation courante dans les forêts du nord du Maine. Cela illustre de façon éclatante, à mon avis, ce que j'avançais au sujet des interactions et de la façon dont les conditions ont évolué avec les années. Pas étonnant que l'on se demande comment tout cela se produit, quand on songe qu'entre temps, le combiné Beloit a disparu de la circulation.

kept in mind as we consider intensive harvesting, consider a check list with which we are all familiar, but too often we forget one or two items on that list when we are out there evaluating a harvesting system or considering what's going on within the ecosystem which has been harvested (Figure 6).

En jetant un coup d'oeil en arrière et en analysant la chose, on se retrouve encore dans la situation où les ingénieurs sont confrontés aux biologistes et où tout le monde est confronté à ce qui se produit en réalité sur le terrain. Pour pousser plus loin l'analogie, si l'on songe aux particularités dont on doit tenir compte en matière d'exploitation intensive, pensons aux listes de contrôle qui nous sont si familières : il arrive souvent que l'on oublie un ou deux articles de la liste lorsque l'on évalue un système d'exploitation ou que l'on étudie ce qui se produit dans un écosystème en exploitation (figure 6).

First, foremost, and most obvious are site characteristics and site quality. We go through the literature and look at the type of information that will be brought out by the speakers through the conference today, and we see a very direct tie between site characteristics, levels of site quality, and the interactions of the things we are talking about. Drainage being one of the most obvious characteristics that must be kept in mind. What fits one site type probably does not fit another site type that is different in some characteristic. And as we look at levels of site quality and vegetation dynamics relative to those levels of quality there are very definite differences. Consider the way the harvesting system is organized on the site. Look at the literature that relates to the value of layout and planning of the traffic of these mechanical monsters, or little scooters, or whatever they are, that are moving across the area. Traffic design and control can make a big difference. What is the obvious pattern when you fly over large cutovers a few years after they have been carried out? Especially where you are dependent on natural regeneration, it's the traffic patterns of the machinery.

D'abord et avant tout, il y a les caractéristiques et la qualité d'un site. Si l'on se fie à la documentation et au genre d'informations qui seront communiquées ici aujourd'hui, on constate qu'il y a un lien direct entre les caractéristiques d'un site, son niveau de qualité et les interactions des choses dont il est question, le drainage étant une des caractéristiques les plus évidentes à garder à l'esprit. Ce qui convient à un genre de site ne conviendra pas à un autre dont les caractéristiques sont quelque peu différentes. Et si l'on considère les niveaux de qualité d'un site ainsi que la dynamique de la végétation inhérente à ces niveaux de qualité, on se rend compte qu'il y a de très nettes différences : par exemple, en ce qui a trait au mode d'organisation du système d'exploitation sur le site. Il suffit de consulter la documentation relative à la valeur de la planification et de la conception de la circulation pour ces monstres mécaniques, ces petits scooters, ou quoi que ce soit d'autre qui déplace dans la région. La planification et la surveillance de la circulation peuvent faire toute la différence. Quels sont les modèles qui sautent aux yeux lorsqu'on survole de

Site disturbance from mechanical harvesting 1973 - 1982
Perturbations causées par l'exploitation mécanique 1973-1982

Undisturbed / Sites intacts	**47.7%**
Scarification / Scarification	
• Organic Matière organique	12.2
• Mineral Minéraux	1.9
• Ruts/Ornières	
• Organic Matière organique	8.7
• Mineral Minéraux	5.7
Slash / Rémanents	**9.7**

Figure 7.

And then, what I consider to be the biggest variable, where we can make significant gains in the coming years, operator competence. This is important because it is not the machine so much as the operator on the machine. If we are going to see changes, I think this is an area where we will see them. There is a definite move under way in Maine, and I know there is interest in the Maritimes, to develop programs to certify operators. We need training programs to give operators a better understanding of the biology of the forest systems and why it's important to do some of the things that need to be done. I hope, over the next few years, that we see valuable intensive programs

grands terrains ou il y a eu des coupes rases quelques années auparavant? Ce sont les lignes tracées par la circulation de la machinerie, surtout s'il s'agit de régénération naturelle.

Et puis il y a ce que je considère comme la plus grande variable, celle où l'on pourra réaliser les progrès les plus substantiels au cours des années qui viennent, soit la compétence des opérateurs. Celle-ci est importante parce que l'on aura beau avoir les meilleures machines au monde, il faut que ceux qui les utilisent soient compétents. S'il y a un domaine ou nous assisterons à des changements, c'est bien celui-là. Le Maine s'est définitivement engagé sur la voie de la mise sur pied de programmes d'accréditation des opérateurs, et les Maritimes se sont montrées intéressées à suivre l'exemple. Nous avons besoin de cours de formation afin que les

Site disturbance from Mechanical harvesting
Perturbations causées par l'exploitation mécanique

(% of area affected)
(% de la surface touchée)

		Scarification/Scarification		
Season/Saison	Undisturbed Site intact	Organic /Matière organique	Mineral Minéraux	Slash Rémanents
Summer/Été	39.3	33.7	2.3	8.3
Winter/Hiver	66.1	8.9	1.0	12.7

Figure 8.

develop so that we have certified operators. So that we have operators who have an understanding and an interest that will modify, in a positive way, the effects of the harvesting machinery on the sites.

Also, the conditions of the ground and the vegetation relative to season are important. Are trees foliated, are they brittle, are they supple, is the ground frozen or not? All these things figure in. As far as disturbance goes, there is a variety of things to be considered here that affect site conditions after harvesting and that also affect the nutrient cycling that will be discussed later. There is a real emphasis here today

opérateurs comprennent mieux la biologie des systèmes forestiers et pourquoi il est important de faire certaines choses essentielles. J'espère qu'au cours des prochaines années, nous assisterons à la mise sur pied de programmes exhaustifs de formation des opérateurs afin que ceux-ci acquièrent une compréhension et un intérêt qui auront une influence positive sur les effets produits par la machinerie sur les sites d'exploitation.

Il y a également l'état du sol et de la végétation en fonction des saisons qui est important. Les arbres sont-ils en feuilles, sont-ils cassants, sont-ils souples? Le sol est-il gelé ou non? Toutes ces questions se posent. Pour ce qui est des perturbations, il faut tenir compte d'une foule de facteurs qui ont un effet sur l'état de site apres la récolte, de même que sur le mouvement cyclique des éléments

Classification of site disturbance by equipment
Classification des perturbations en fonction de l'équipement utilisé

(% of area affected)
(% de la surface touchée)

		Scarification Scarification		Ruts Ornières		
Equipment Equipement	Undisturbed Site intact	Organic Matière organique	Mineral Minéraux	Organic Matière organique	Mineral Minéraux	Slash Rémanents
Feller Forwarder Abatteuse-débusqueuse	35.0	14.3	2.5	8.3	8.2	12.5
Feller- Buncher (Tires) Abatteuse-empileuse (Pneus)	25.8	19.5	2.5	9.5	7.9	10.2
Feller Buncher (lags) abatteuse-empileuse (Lattes)	66.0	8.5	1.6	9.4	2.9	5.0

Figure 9.

on nutrients and much of the discussion will probably center on nutrients. Vegetation development and regeneration of cutover areas in the initial years after harvesting are just as important, or more so, than nutrients. We become preoccupied with nutrients and forget about the other needs of vegetation on the site. The scouring of the site from tree crowns, depending on the skidding technique. Are we mixing the mineral soil? have we left an organic pad? or is it necessary to disturb the organic pad? and so on. And then, of course, how does this interact with the needs for site preparation? Or, hopefully, maybe avoiding the need for mechanical site preparation. With this goes a concern for the disposition of the residues following harvest. All this comes together to define a micro-environment that is critically important to a young tree on a site in a very local situation. Look carefully across a cutover of trees planted

nutritifs dont nous parlerons plus loin. D'ailleurs, on mettra beaucoup l'accent sur les éléments nutritifs, ici, aujourd'hui, et nul doute qu'une bonne partie de la discussion sera axée sur ce sujet. Pourtant, la croissance de la végétation et la régénération dans les premières années après la coupe sont tout aussi importantes, sinon plus, que les éléments nutritifs. Nous nous préoccupons des éléments nutritifs et nous oublions les autres besoins de la végétation sur le site. Il y a notamment l'enlèvement des cimes qui dépend de la technique de trainage utilisée. Mélangeons-nous les minéraux du sol? Avons-nous laissé un coussin organique? Ou encore, est-il nécessaire de perturber le coussin organique? Et ainsi de suite. Et alors, bien sur, comment cela influence-t-il le besoin de préparation du sol? Ou, dans le meilleur des cas, comment cela élimine-t-il le besoin de préparation mécanique? Il y a aussi le

Regeneration Objectives & management planning
Objectifs de régénération et planification de l'aménagement

Origin of regeneration
Origine de la régénération

Site preparation interactions
Interactions dans la préparation des sites

- Harvesting interactions
  Interactions dans l'exploitation
- Redistribution of residues
  Redistribution des résidus
- Additional soil mixing
  Mélange additionnel du sol

Vegetation dynamics & plant cover
Dynamique des plantes et couverture végétale

- Release activities
  Activités de dégagement

Figure 10.

or natural regeneration relative to where they are in relation to a branch lying on the ground. A branch that makes the difference between successful establishment or failure.

With regard to some of these considerations, I thought I would pull out of the drawer some data that were put together through the cooperation and efforts of one of the large landowners in Maine, who has had the longest experience with mechanical harvesting. This company's experience in mechanical harvesting goes back over 10 years and characterizes conditions across the ownership (Figure 7). Now who is to say what numbers like this mean, but they do come from 10 years of evaluation of mechanical harvesting across a large ownership. They went back over sites that had been harvested through the whole development of different machinery through the 10-year period. Less than half the areas were actually in a category that could be considered undisturbed. And about 10% still had slash. They evaluated ruts and scarification relative to whether it was the organic layer or in the mineral soils. The same data over 10 years were broken down by summer versus winter harvesting (Figure 8). As expected, there were some patterns there as well; much less disturbance in the winter than in summer and more area covered with slash in winter than in summer. I attribute that higher amount of slash, in this case, to the breaking out of tops and parts of the trees in winter that did not occur in the summer. But there is a distinct pattern. The same

problème de l'élimination des résidus après la récolte. Tout cela s'entremêle pour définir un micro-environnement qui revêt une importance capitale pour un jeune arbre dans un site particulier. Examinez soigneusement une nouvelle plantation ou une régénération naturelle et constatez leur situation par rapport a une branche qui gît au sol. Cette branche peut faire la différence entre le succès ou l'échec d'un peuplement.

En ce qui a trait à quelques unes de ces considérations, j'ai cru bon de ressortir de mes tiroirs quelques données qui ont été rassemblées grace à la collaboration et aux efforts d'un des grands propriétaires fonciers du Maine, soit celui qui avait la plus longue expérience de l'exploitation mécanique. Cette compagnie pratiquait l'abattage mécanique depuis plus de dix ans et avait dépeint les conditions qui régnaient dans toute la propriété (figure 7). Il est difficile de saisir la portée de ces chiffres, mais ils proviennent tout de même de dix années d'évaluation de l'exploitation mécanique sur une grande propriété. On est retourné sur des sites de coupe qui avaient éprouvé toute l'évolution de la machinerie au cours de ces dix ans. En fait, il y avait moins de la moitié de la surface que l'on pouvait considérer intacte. De plus, il y avait encore des rémanents sur environ 10% de la surface. On a également évalué les ornières et la scarification afin de déterminer si elles touchaient la couche organique ou les sols minéraux. Les mêmes données sur 10 ans ont été ventilées en fonction des travaux d'hiver et d'été (figure 8). Tel que prévu, on y découvrait des modèles précis; il y a beaucoup moins de perturbation en hiver qu'en été et les rémanents couvrent une plus grande surface en hiver. J'attribue cette augmentation de la quantité de

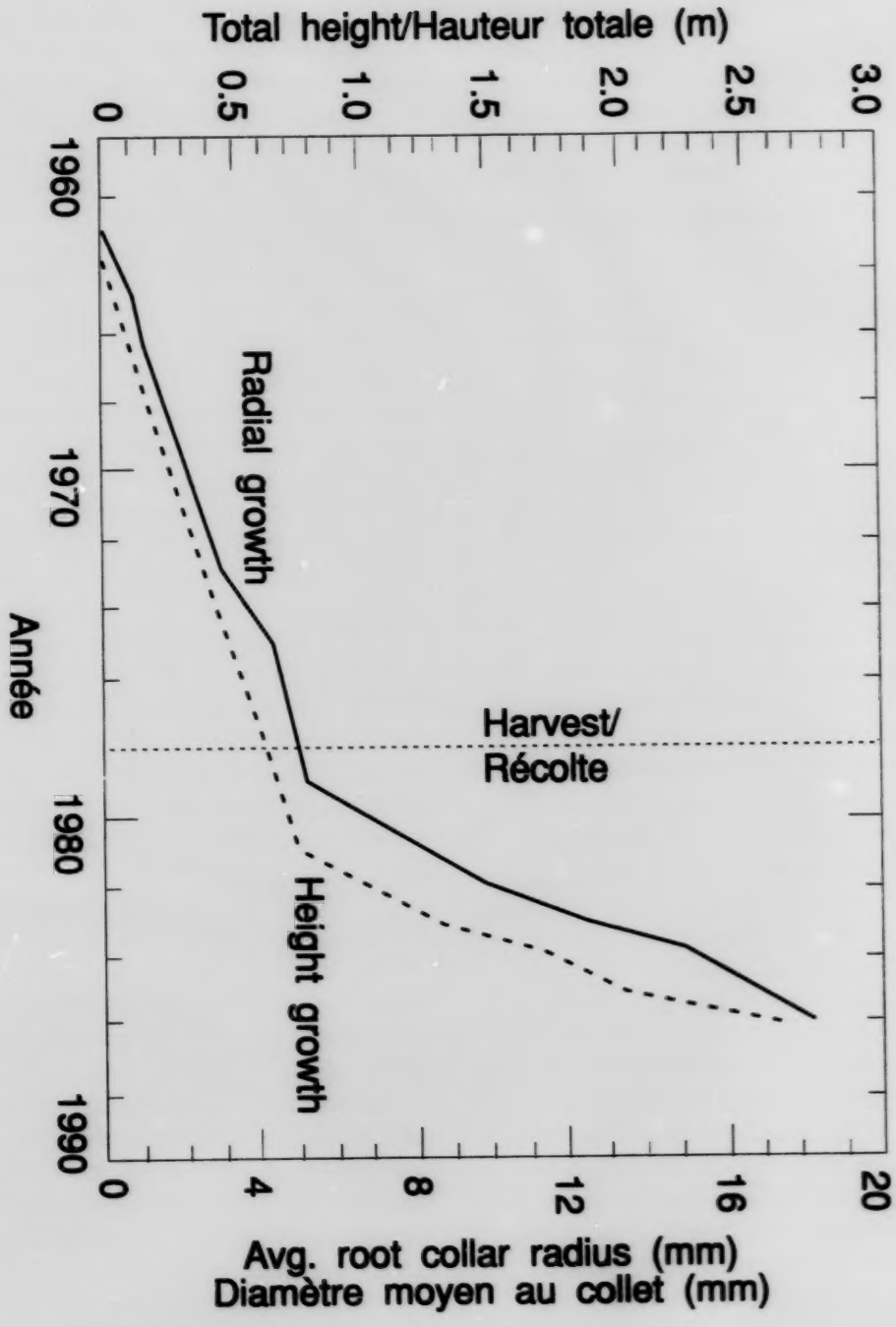

Total height/Hauteur totale (m)
0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
1960
1970
1980
1990
Année
Radial growth
Harvest/
Récolte
Height growth
0
4
8
12
16
20
Avg. root collar radius (mm)
Diamètre moyen au collet (mm)

Figure 11.

data were broken down according to type of equipment (Figure 9). Feller-forwarders are compared with two types of feller-bunchers. Again, a pattern developed that was not a surprise, but at least we could feel more confident in our thinking as we looked at those different harvesting systems. These patterns are fairly indicative of the conditions with which we are dealing as we look at different systems.

rémanents, dans ce cas précis, au fait que les cimes et les branches se brisent plus facilement en hiver qu'en été. Mais le modèle est très net. Les mêmes données ont été ventilées en fonction du genre d'équipement (figure 9). On y compare les engins combinés d'abattage-débusquage à deux types d'engins d'abattage-empilage. Là encore, le modèle qui se manifestait n'avait rien de surprenant, mais au moins, nous pouvions afficher plus de confiance dans notre démarche par rapport à ces différents systèmes. Ces modèles sont un indice relativement fiable des conditions auxquelles nous faisons face en ce qui a trait aux différents systèmes.

Remembering my initial assumption, we want to regenerate. Therefore, as we think about all this, regeneration should always be at the back of our minds. So we consider the regeneration objectives and the management planning that goes with them (Figure 10). What will be the origin of the regeneration? Will it be artificial or natural? Judging from the interest expressed in a forthcoming symposium which will take place here in late March, the interest in natural regeneration is increasing. There has always been strong interest in Maine in natural regeneration. It also needs to be considered if one looks at plantations. A few years ago, during a conference in this very room on pre-commercial thinning, the topic that surfaced every so often was the need to pre-commercially thin plantations. This emphasizes the importance of volunteer regeneration coming into the plantations. Where did it come from and how did it get there? Well all of that fits together with our consideration of post-harvesting conditions because it does not make much sense to think about pre-commercial thinning in plantations. If we are dependant

Pour revenir à mon hypothèse de départ, nous voulons régénérer la forêt. Donc, si l'on pense à tout cela, il faut toujours garder la régénération à l'esprit. Alors nous devons considérer les objectifs de la régénération et la planification de l'aménagement qui les accompagne (figure 10). Quelle sera la source de régénération? Sera-t-elle naturelle ou artificielle? Si l'on en juge par l'intérêt qui se manifeste à propos de la prochaine conférence qui se tiendra ici à la fin mars, la régénération naturelle gagne de plus en plus de terrain. D'ailleurs, dans le Maine, celle-ci a toujours suscité un fort intérêt. Il faut aussi en tenir compte lorsqu'il est question de plantations. Il y a quelques années, à l'occasion d'une conférence tenue ici-meme dans cette salle sur les éclaircies commercialisables préalables, un des sujets qui faisait surface le plus souvent était celui de la nécessite d'effectuer ce type d'éclaircies. Cela souligne l'importance d'introduire volontairement la régénération dans les plantations. D'oû cela provient-il et comment en sommes-nous arrivés la? Et bien, tout cela s'intègre à notre façon de

Long -term considerations
Considérations à long terme

Operational "values"
"Valeur" des opérations

Regeneration methods
Méthodes de régénération

Nutrient & OM supplements
Compléments nutritifs et matière organique

Sludge & ash
Boues et cendres

Rotation length
Durée de renouvellement

Future harvesting systems
Systèmes d'exploitation futurs

Continuity of management
Continuité de l'aménagement

Environmental considerations
Considérations environnementales

Amenity values
Attraits de la forêt

Ecosystem landscape
Aspect du paysage dans l'écosysteme

Figure 12.

on natural regeneration, we should plan for it. That could be a very important part of how we conduct intensive harvesting.

considérer les conditions ultérieures à la récolte, parce qu'il est un peu absurde songer à des éclaircies préalables dans des plantations. Si nous devons dépendre de la régénération, nous devons la planifier. Cela pourrait se révéler de la premiere importance dans la façon dont nous pratiquons l'exploitation intensive.

Redistribution of the residues, the role organic matter and residue play in the development of the micro environment, is important for the establishment and early development of regeneration. And then, what happens with the vegetation and the plant cover? Even though I would prefer to avoid it here today, I have to mention release treatments. We were talking at breakfast, a group of us, about a study we did over in Maine. I think Tattersall Smith will mention it later. It involved the interaction of a release treatment with the vegetation and what this could do, or does do, to the nutrient cycle on site. It is very little understood. How we harvest determines the vegetation dynamics, the need, or lack of it, to treat with a release at a critical time to get the regeneration established. At that time, the results of the intensive harvesting are further modified by silvicultural techniques that can affect the nutrient cycle.

La redistribution des résidus, c'est-à-dire le role joué par la matière organique et les résidus dans l'evolution du micro-environnement, est importante pour l'établissement et le développement initial d'une végétation. Et qu'arriverait-il ensuite à la végétation et à la couverture végétale? Bien que je préférerais éviter ce sujet aujourd'hui, je me dois de mentionner les traitements de dégagement. Au petit-dejeuner, nous étions un groupe à discuter d'une étude que nous avons réalisee dans le Maine. Je crois que Tattersall Smith en parlera plus tard. Cette étude portait sur les effets du dégagement sur la végétation et sur les répercussions potentielles ou réelles de cette pratique sur le mouvement cyclique des éléments nutritifs sur un site. Il s'agit d'un phénomène encore mal compris. Le mode d'exploitation détermine la dynamique de la végétation et il y a un moment critique où le dégagement, ou son omission, fait toute la différence dans l'établissement d'une régénération. À ce moment-là, les résultats de l'exploitation intensive sont plus sensibles aux techniques sylvicoles qui peuvent influencer le cycle des éléments nutritifs.

Consider the diagram representing red spruce seedlings on a site over in north central Maine (Figure 11). It shows what we're finding. There is much more regeneration on the sites at the time of harvesting than we realized. We've

Le diagramme qui représente les semis d'épinettes rouges sur un site du nord du Maine (figure 11) montre bien ce que nous découvrons. Il y a sur les sites, beaucoup plus de régénération au moment de la récolte que nous ne l'avions

missed a lot of seedling material in early pre-harvest or immediate post-harvest regeneration surveys and we have not yet gained a thorough understanding of what's happening there. Where does the regeneration come from? What can we do to protect it and establish it and move it along in a managed way? In many cases, we think of post-harvest regeneration seeding in after harvest. But, not so in much in our spruce-fir forest. An intensive harvesting system must, in many cases, and especially if you're going to be depending on natural regeneration, consider advanced regeneration on the ground. It is almost impossible to see. There is a great deal of small stuff there which has not received the credit it is due.

What I have tried to go through here are some overall considerations, hoping that people will realize that there are many variables. What happens on one site, probably does not happen the same way on another site. However, many of the basics follow a pattern that does carry across sites. To summarize, consider a few things that I call long-term considerations (Figure 12) such as intensive harvesting, the interactions of intensive harvesting, nutrient cycling, organic matter input, protection, micro-environment, etc. These are some things that I hope we can all keep in mind. In a basic way, I use a term "operational values". Whatever is discussed, it must be meaningful for operational foresters. Information must be presented in such a way that an operational person can deal with it. We assume throughout that we are going to regenerate the stands which we harvest. Certainly, we are concerned about nutrients, organic matter, and the possibility of nutrient supplements. A new

cru. Beaucoup de semis ont été oubliés dans les études sur la régénération immédiatement avant ou après la récolte et nous ne sommes pas encore parvenus à bien comprendre ce phénomène. D'où vient la régénération? Que pouvons-nous faire pour la protéger, la mettre sur pied et l'aménager? Souvent, nous ne pensons à l'ensemencement de régénération qu'une fois la récolte effectuée. Mais ce n'est pas ainsi qu'il faut procéder dans les forêts de sapins et d'épinettes. Un système d'exploitation intensive doit souvent, et particulièrement si l'on a recours à la régénération naturelle, tenir compte de la régénération déjà en place sur le terrain. Il est presque impossible de la voir. Il y a beaucoup de petites choses dont nous n'avons pas suffisamment tenu compte sur le terrain.

Ce que j'ai voulu exposer ici, ce sont des considerations générales, en espérant que les gens comprendront qu'il y a beaucoup de variables. Ce qui se produit sur un site ne se produira pas nécessairement de la même façon sur un autre. Toutefois, de nombreux éléments fondamentaux se conforment à un modèle qui est effectivement reproduit sur tous les sites. Pour résumer, examinons quelques unes des choses que j'appellerai des considerations à long terme (figure 12), telles que l'exploitation intensive, le mouvement cyclique des éléments nutritifs, l'apport en matière organique, la protection, les micro-environnements, etc... Voilà quelques unes des choses que nous pourrons garder à l'esprit, du moins je l'espère. Fondamentalement, j'utilise l'expression "valeurs operationnelles". Quel que soit le sujet de discussion, celui-ci doit avoir un sens pour les exploitants. L'information doit être présentée de manière à être comprise par tous ceux qui oeuvrent sur le

player has entered the game: sludge and ash. How do we satisfy the needs of the people who have large quantities of sludge and ash and want to dispose of it on forest land. Can sludge and ash be useful for adding materials back to the harvested sites. We have to consider carefully what's happening with rotation lengths. That's an important variable in this framework and it can change. We need to consider the impacts of the probable, hopeful, reduced rotations in these forests that we are going to harvest intensively. The frustration, how does one study harvesting systems when you know when you get up tomorrow morning they will be different? We need a better crystal ball to understand what's going to happen with harvesting systems and we need to have your input on getting harvesting systems that do what needs to be done for the forest and for the site, but can function effectively on the site.

terrain. Nous supposons toujours que les peuplements se régénéreront. C'est sûr que nous nous préoccupons des éléments nutritifs, de la matière organique et de la possibilité d'apporter des suppléments nutritifs. Mais un nouveau joueur est entré dans la partie : les boues et les cendres. Comment satisfaire aux besoins de ceux qui veulent se débarrasser de grandes quantités de boues et de cendres sur les terres forestières. Peut-on se servir des boues et des cendres pour ramener des matières utilisables sur les sites exploités? Nous devons examiner soigneusement ce qui se produit avec la durée de l'âge d'exploitabilité. Il s'agit d'une variable importante dans ce contexte et il est possible de la modifier. Nous devons tenir compte des répercussions de la possibilité souhaitable de réduire l'âge d'exploitabilité dans les forêts qui feront l'objet d'une exploitation intensive. Il est très frustrant pour quelqu'un d'étudier les systèmes d'exploitation tout en sachant que ceux-ci seront complètement transformés du jour au lendemain. Il nous faudrait une boule de cristal pour comprendre ce qui se produira avec tel ou tel système d'exploitation et nous avons besoin de nos connaissances pour en arriver à des systèmes d'exploitation qui soient à la fois rentables et respectueux des sites.

One that always troubles me is continuity of management. As the systems develop, and harvesting and planning develop, it's important that, in this long-term business, there be some provision for continuity of management of the systems so that we can relate to what we did yesterday, and we can anticipate what we're going to do tomorrow.

S'il y a quelque chose qui ne lasse pas de me préoccuper, c'est la continuité de l'aménagement. À mesure que les systèmes évoluent, de concert avec l'exploitation et la planification, il est important que, dans la gestion des affaires à long terme, l'on prévoie une forme quelconque de continuité de l'aménagement des systèmes, de manière à pouvoir établir un lien avec ce qui se passait

There is one more little box coming up. Other considerations to keep in mind. I debated about including these. Keep in mind the overall environmental considerations. We must be cognizant of the public's desire to know what's going on. They are interested in the overall environment. We must answer their questions, and many of them have valid concerns which deserve answers. We have to look at the amenity values of the forest. We may think that wood is the only valid use of the resource but, of course, there are other viewpoints and, as we look at intensive harvesting, we need to see where they all fit in.

Another concern that has surfaced in the last few years must also be considered: overall landscape. Intensive harvesting affects the landscape. How does the vegetation develop? What does it look like? What does it do to the patterns of diversity, or lack thereof? At least file those thoughts away in the back of your minds so that they are not forgotten as we go on into the day of more factual discussion. And with that, where's Gerrit?

As a matter of fact, I had wildlife on my notes when I put this together and I missed it. It was there. As you know, in Maine, you can't talk forests without talking moose, deer, in a few selected circles, caribou, etc. It wasn't overlooked.

auparavant et prévoir ce qu'il faudra faire à l'avenir.

Il y a une autre petite boite à ajouter, d'autres considérations dont il faut tenir compte. J'en ai discuté longtemps avant de les inclure. Je pense aux aspects environnementaux dans leur sens large. Nous devons reconnaître que le public a le droit de savoir ce qui se passe. Les gens s'intéressent à tout ce qui touche l'environnement. Nous devons répondre à leurs questions puisque beaucoup de personnes expriment des inquiétudes valables qui méritent une réponse. Nous devons tenir compte de l'attrait qu'exerce la forêt. Nous pouvons toujours croire que le bois est la seule ressource de la forêt, mais il y a bien sûr d'autres points de vue et nous devons voirs à les intégrer lorsque nous parlons d'exploitation intensive.

Nous devons également tenir compte d'une autre préoccupation qui s'est faite jour ces dernières années : le paysage dans son ensemble. L'exploitation intensive modifie le paysage. Comment la végétation se développe-t-elle? À quoi ressemble-t-elle? Qu'en est-il de sa diversité ou de son uniformité? Gardez toutes ces questions à l'esprit pour ne pas les oublier lorsque nous aborderons des faits précis plus tard, au cours de la journée. Et avec tout ça, où est Gerritt?

À vrai dire, j'avais inscrit la question de la faune dans mes notes préparatoires et je n'en ai pas parlé, mais elle y etait. Vous n'êtes pas sans savoir que dans le Maine, on ne peut parler de la forêt sans parler des orignaux, des chevreuils et, dans certains milieux privilégiés, des caribous. Cela n'a pas été oublié.

Question:

Do you see harvest equipment designers predicating some of their designs on the marvellous results that you found with the Beloit through your historical sort of revisiting of some of those sites, or are they still dealing with trying to bring wood off the site in the cheapest manner possible, without considering the biological consequences.

Answer:

I can't really speak for the designers, but I feel that there is much more attention given to those considerations than we saw 10 years ago. I think we are moving in that direction with some of the new equipment out of Scandinavia. The type of equipment that I observed over on the Irving operations here this fall is indicative of what our capabilities will be and what we can do as we need to do it. I think we are moving in the right direction, but we need to keep moving in that direction. I am very much encouraged by this sort of thing.

Gerrit:

Thank you very much Max. Now we all have an appreciation of why we put him first on the Agenda.

a) He covers a broad range and puts things in perspective.

b) As a true educator and a true researcher, he asks more questions than he has answers for.

Question :

Croyez-vous que les concepteurs d'équipement ont quelque peu adapté la machinerie qu'ils mettent au point, en fonction des résultats formidables que vous avez constatés au cours de vos visites sur les sites exploités à l'aide du combiné Beloit, ou croyez-vous qu'ils continuent d'essayer de récolter le plus de bois possible, de la façon la plus économique possible, sans tenir compte des conséquences biologiques?

Réponse :

Je ne peux vraiment pas répondre au nom des concepteurs, mais j'ai l'impression qu'ils font beaucoup plus attention à ces considérations qu'il y a dix ans. Je crois que nous allons dans cette direction, surtout si l'on regarde une partie du nouvel équipement scandinave. Le genre de machinerie que j'ai vu l'automne dernier sur les terres de la société Irving est un bon indice de ce que nous pourrons faire et de la façon dont nous pouvons nous adapter. Je crois que nous sommes sur la bonne voie, mais que nous devons rester vigilants. Ce genre de choses m'encourage énormement.

Gerritt :

Merci beaucoup Max. Maintenant vous savez tous pourquoi nous l'avons fait passer en premier :

a) il couvre un vaste éventail de matière et il a le don de mettre les choses en perspective;

b) comme tous les bons éducateurs et les bons chercheurs, il pose plus de questions qu'il ne donne de réponses.

EFFECTS OF WHOLE-TREE HARVESTING ON LONG-TERM SITE PRODUCTIVITY - SOME SWEDISH VIEWS

Professor Folke Andersson, Department of Ecology and Environmental Research, Swedish University of Agricultural Sciences, P.O. Box 7072, S-750 07 Uppsala, Sweden

Introduction

An evaluation of whole-tree harvesting practices requires that biological, technological, and economic aspects must be considered. The guiding principle must, however, be that management must rest upon biologically sound principles. In cases where uncertainties prevail, a decision must be taken which contains a safety margin.

An evaluation requires access to real experiments, where the effects can be measured in terms of production changes, as well as soil changes, biological and/or chemical. Experiments take time and will also represent a limited number of points in a site quality spectrum. Knowledge of site quality and production levels must then be used in order to generalize over the entire range of site conditions. We can also say that a synthesis must be done using the best wisdom available.

A change in production as a consequence of whole-tree harvesting includes two factors which need to be considered:

- changes in soil fertility, and

LES EFFETS DE LA RÉCOLTE D'ARBRES ENTIERS SUR LA PRODUCTIVITÉ LONG TERME D'UN SITE - LE CAS DE LA SUÈDE

Professeur Folke Andersson, département d'écologie et de recherche sur l'environnement, Université suédoise d'agronomie, C.P. 7072, S-750 07 Uppsala, Suède

Introduction

Pour évaluer les méthodes d'exploitation par arbres entiers, il faut tenir compte d'éléments biologiques, technologiques et économiques et partir du principe que l'aménagement doit reposer sur des pratiques biologiquement saines. En cas d'incertitude, il convient de prendre des décisions comportant une marge de sécurité.

Une évaluation commande des expériences qui permettent de mesurer les changements qui se produisent au niveau de la production ainsi que les changements biologiques et chimiques du sol. Ces expériences prennent du temps et font ressortir un nombre limité d'éléments dans l'éventail des qualités stationnelles. Les connaissances que l'on a de la qualité stationnelle et des niveaux de production doivent alors servir à émettre des généralisations pour toute la gamme des conditions stationnelles. On peut également dire qu'il faut faire la synthèse des conclusions avec toute la circonspection voulue.

Tout changement de production qui résulte de l'exploitation par arbres entiers comprend deux volets dont il faut tenir compte:

- les changements de fertilité du sol; et

- changes in stand structure and density.

The following general conclusions are drawn from ongoing Scandinavian experiments, in particular Swedish ones. I am indebted to Dr. H. Lundkvist and Mr. B. Olsson for access to their material, published and unpublished. I am also indebted to Mr. B. Leijon, who has informed me of unpublished results. He has also given me access to written statements concerning his present understanding and interpretation of consequences of whole-tree harvesting.

No previously described material on experiments will be presented in this summary. The reader is referred to Lundkvist (1988), who has given an account of Fennoscandian field experiments and major results.

The following comments are valid for Scandinavian and Swedish conditions. There are two major species: Norway spruce (*Picea abies*) and Scots pine (*Pinus sylvestris*). Norway spruce is more nutrient demanding than Scots pine. Both species are typical for our boreal and boreo-nemoral forests. The soils are usually acid podzol with mor as the dominating soil type, although brown forest soils may be found with mull. Transitional soil types with a moder-like humus are common in the southern part of the country.

The normal way in Sweden of regenerating forests is by plantation. Mainly sandy soils with Scots pine are naturally regenerated by seed trees or sawing.

- les changements de structure et de densité d'un peuplement.

Les conclusions générales qui suivent sont tirées d'expériences en cours en Scandinavie, particulièrement en Suède. Je suis très redevable à H. Lundkvist et à B. Olsson qui m'ont laissé consulter leurs documents publiés et non publiés. Je dois également beaucoup à B. Leijon qui m'a transmis des résultats non publiés et m'a laissé consulter divers textes sur la façon dont il comprend et interprète les conséquences de la récolte d'arbres entiers.

Nous ne décrirons pas ici les expériences tentées. Nous renvoyons le lecteur à Lundkvist (1988) qui a rendu compte de ses expériences sur le terrain dans le bouclier finno-scandinave et des grandes conclusions qu'elles lui ont inspiré.

Les observations qui suivent valent pour la Scandinavie et la Suède. On dénote deux espèces principales, l'épinette de Norvège (*Picea abies*) et le pin sylvestre (*Pinus sylvestris*). L'épinette de Norvège consomme davantage d'éléments nutritifs que le pin sylvestre. Les deux espèces sont caractéristiques de nos forêts boréales et boréo-némorales. Les sols sont généralement des podzols acides où l'humus prédominant est le mor, même si l'on trouve des sols forestiers bruns avec du mull. Les sols de transition dont l'humus est de type moder sont courants dans le sud du pays.

En Suède, la régénération des forêts se fait par plantation. Les sols essentiellement sableux sur lesquels pousse le pin sylvestre se régénèrent naturellement par voie de semence ou par coupe.

The interpretation of the effects of whole-tree harvesting also requires an insight into the deposition climate. In SW Sweden, the total deposition of sulphur amounts to approximately 35 kg/ha/year and, for nitrogen, about 20-25 kg/ha/year. A strong gradient towards the north is found with decreasing amounts, almost to background levels of 5 kg/ha/year.

Regeneration and Growth after Clearfelling

Slash removal, not including stump harvest, after clearfelling, followed by plantation of spruce or pine has resulted in the following conditions:

- The stand quality (survival x plant mean height in cm) indicates a positive influence of removal of slash. Less so for spruce.

- A certain growth decline for spruce can be seen, but it is not possible to relate to site quality. After 20 years, the growth decline cannot be traced.

- The total growth decrease up to 20 years of age corresponds to 0.5 - 4.5 years or 1-4% over the rotation.

The result of continued slash and stump removal is less clear, depending on a too short experimental period. The attitude towards stump extraction is that it leads to unacceptable soil disturbances. On silty soils, the regeneration may fail due to frost-heaval and water-logging. Also, increased nutrient leaching is expected.

Pour pouvoir interpréter les effets de l'exploitation par arbres entiers, il faut également comprendre le climat des dépôts. Dans le sud-ouest de la Suède, le dépôt total de soufre s'élève à environ 35 kg/ha/an et le dépôt total d'azote à 20-25 kg/ha/an. Une forte inclinaison vers le nord contient des niveaux de fond de 5 kg/ha/an.

Régénération et croissance après une coupe à blanc

L'enlèvement des rémanents, sans dessouchage, après une coupe à blanc suivie de la plantation d'épinettes ou de pins a donné les résultats suivants :

- La qualité du peuplement (survie x hauteur moyenne des arbres en cm) indique que l'enlèvement des rémanents a une incidence positive. Moins dans le cas de l'épinette.

- On dénote chez l'épinette un certain ralentissement de la croissance, sans rapport avec la qualité stationnelle. Au bout de 20 ans, le ralentissement de la croissance a disparu.

- La baisse de croissance totale jusqu'à 20 ans d'âge correspond à 0,5-4,5 années ou à 1-4 % de l'âge d'exploitabilité.

Les résultats de l'enlèvement systématique des rémanents accompagné du dessouchage sont moins clairs en raison de la trop grande brièveté de la période expérimentale. Le dessouchage provoque des bouleversements du sol inacceptables. Sur les sols siliteux, la régénération risque d'échouer en raison du gel et de la saturation en eau. On peut également prévoir une augmentation du lessivage des éléments nutritifs.

Thinning in established stands of more than 20 years of age

Interesting results have been obtained from an experiment in a stand of Norway spruce with repeated thinnings and removal of slash. The stand is growing on a better site in SW Sweden. It is planted on a former heathland (Experiment S 865, Tonnersjoheden).

The experiment showed after the first five years after thinning, an obvious decrease in growth. However, after another five-year period, no differences in growth rate could be seen.

In an old experiment on a poor site with Scots pine in Norway, a growth decrease of 10-20% over the rotation has been found after repeated removal of the slash.

These experiments indicate the following: In the case of the Norway spruce on a good site, the stand is in its most active growing phase and has a high demand of nutrients. The removal of slash has meant that easily available nutrients have been removed. After some years, the litter fall has rectified the situation. However, some caution must be exercised in the interpretation, as the stand is situated in an area with an ample deposition of nitrogen, which may cover a possible long lasting growth reduction.

The growth decrease on the poor site with Scots pine may be what we can expect to

Éclaircie de peuplements implantés il y a plus de 20 ans

On a obtenu des résultats intéressants dans le cadre d'une expérience sur un peuplement d'épinettes de Norvège soumis à des éclaircies répétées et à l'enlèvement des rémanents. Le peuplement pousse sur un meilleur site dans le sud-ouest de la Suède. Il a été planté sur une ancienne lande à bruyère (expérience S 865, Tönnersjöheden).

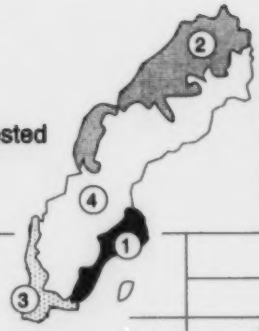
L'expérience a révélé une baisse de croissance manifeste cinq ans après l'éclaircie. Toutefois, au bout de cinq autres années, on n'a plus constaté aucune différence dans le taux de croissance.

Dans le cadre d'une expérience antérieure pratiquée sur un site pauvre planté de pins sylvestres en Norvège, on a constaté une baisse de croissance de l'ordre de 10 à 20 % au cours de la révolution après l'enlèvement répété des rémanents.

Ces expériences prouvent ceci. Dans le cas de l'épinette de Norvège poussant sur un bon site, le peuplement en est à sa phase de croissance la plus active et a grand besoin d'éléments nutritifs. L'enlèvement des rémanents a entraîné l'élimination des éléments nutritifs facilement assimilables. Au bout de quelques années, le dépôt de la litière a rétabli la situation. Toutefois, il faut interpréter ces résultats avec circonspection étant donné que le peuplement est situé dans une région qui reçoit de forts dépôts d'azote, ce qui peut dissimuler une éventuelle baisse de croissance durable.

La baisse de croissance constatée sur le site médiocre planté de pins sylvestres

1. No residues may be harvested
2. App. of the residues may be harvested
3. The major portion of the residues may be harvested
4. Appr. half of the residues may be harvested in case of particular restrictions (3.3)
5. No residues may be harvested in case of particular restrictions (3.3)



1. Aucun résidu ne peut être récolté
2. Une partie des résidus peut être récolté
3. La majeure partie des résidus peut être récoltée
4. Environ la moitié des residus peut être récoltée moyennant certaines restrictions (3.3)
5. Aucun résidu ne peut être récolté moyennant certaines restrictions (3.3)

Area (see map)/ Région (voir carte)	Harvesting form/ Mode d'exploitation	Fresh soil/Sol frais Peaty soil/Sol tourbeux Lichens-dwarf shrubs/ Lichens-buissons nains Coarse/ Texture grossière	Medium Coarse/ Moyennement grossière	Fine/ Fine	Myrtillus - herbs/ Myrtilius - herbes Coarse/ Texture grossière	Medium Coarse/ Moyennement grossière	Fine/ Fine
1. Area with pronounced early summer drought/ Région très sèche au début de l'été	Thinning excl. Éclaircie seul 1. thinning 1. Éclaircie Clearcutting Coupe à blanc	1	1	5	1	5	3
	Stump harvest / Dessouchage	1	1	2	1	4	3
2. Area with difficult regeneration/ Région où la régeneration est difficile	Thinning excl. Éclaircie seul 1. thinning 1. Éclaircie	1	1	5	1	5	3
	Stump harvest / Dessouchage	1	1	2	1	4	3
3. Area with high load deposition/ Région recevant une forte charge de dépôts	Thinning excl. Éclaircie seul 1. thinning 1. Éclaircie	1	1	2	1	2	3
	Stump harvest / Dessouchage	1	1	2	1	4	3
4. Other parts of the country/ Autres régions du pays	Thinning excl. Éclaircie seul 1. thinning 1. Éclaircie	1	5	4	5	4	3
	Stump harvest / Dessouchage	1	2	4	2	4	3

find after removal of slash. Poor sites may be more sensitive than richer sites.

Whole-tree harvesting in combination with other management practices and environmental conditions

The long-term impact of whole-tree harvesting on site productivity is definitely associated with the degree of export of nutrients from the site. Too strong an impact will lead to a situation where reduced growth may occur together with an increasing soil acidification. In areas with a high deposition of atmospherically transported acidity (sulphur and nitrogen), situations have already occurred where the loss of nutrients through leaching has resulted in conditions with nutritional deficiencies. In future, nutrient deficiencies can be expected in newly established stands approaching stand closure. The increased fall-out of nitrogen results in temporary good growth, but will contribute to nutritional imbalances. With time, this leads to less vital trees and decreased growth.

In general, and in the short term, it is considered to be favorable to the regeneration of forests after clearfelling and slash removal. Better stand quality and better conditions for management usually result.

Final conclusions

A greater harvest of the forest must be considered as a possibility worth exploring. Careful judgement must, however, be used. In managing the site, the organic

représente sans doute ce à quoi il faut s'attendre après l'enlèvement des rémanents. Les sites pauvres sont sans doute plus vulnérables que les sites plus riches.

Récolte d'arbres entiers combinée à d'autres pratiques d'aménagement et aux conditions de l'environnement

L'incidence à long terme de la récolte d'arbres entiers sur la productivité d'un site est indéniablement liée à l'exportation d'éléments nutritifs hors du site. Moyennant une incidence trop forte, on risque d'obtenir une baisse de croissance et une hausse de l'acidification des sols. Dans les régions qui reçoivent de forts dépôts atmosphériques de soufre et d'azote, les pertes d'éléments nutritifs par lessivage ont provoqué des carences nutritives. À l'avenir, il faut s'attendre à constater des carences nutritives dans les peuplements nouveaux qui approchent de la fermeture du couvert. L'augmentation des retombées d'azote entraîne une bonne croissance temporaire, mais risque de contribuer à des déséquilibres nutritifs. Avec le temps, cela donne lieu à des arbres moins vivaces et à une baisse de croissance.

En général et à court terme, on considère que cela favorise la régénération des forêts après une coupe à blanc et l'enlèvement des rémanents. Les résultats révèlent généralement des peuplements de meilleure qualité et de meilleures conditions d'aménagement.

Conclusions finales

L'exploitation plus poussée des forêts est une option qui vaut la peine d'être étudiée. Il faut toutefois avancer avec prudence. Dans l'aménagement du site,

matter of the soil must be carefully managed. The development of techniques where the fine and nutrient rich slash is left or given back to the site must be stimulated.

The long-term management of the nutrient capital must be recalled. In areas with high deposition, the possibility of increased losses through leaching must be considered. In these areas, whole-tree harvesting cannot, in the long run, be exercised without taking compensatory measures, such as fertilization.

Recommendations

In Sweden, the National Forestry Board, together with various authorities, has recommended that whole-tree harvesting be carried out in different parts of the country. This is an attempt to consider modified types of harvesting adjusted to the regional conditions in terms of climate and deposition of pollutants (Fig. 1).

References

Lundkvist, H. 1988. Ecological effects of whole tree harvesting - some results from Swedish field experiments. *In*: Predicting consequences of intensive forest havesting on long-term productivity by site classification. Proceeding of a workshop, Hobcaw Barony, Georgetown, S.C., USA, October 2-9, 1987.

la matière organique du sol doit être soigneusement traitée. Il faut encourager la conception de techniques qui prévoient de laisser sur place les rémanents riches en éléments nutritifs ou de les restituer au site.

La gestion à long terme du capital nutritif revêt la plus haute importance. Dans les régions qui reçoivent d'importants dépôts, il faut songer aux possibilités de plus grandes pertes par lessivage. Dans ces régions, la récolte d'arbres entiers n'est pas envisageable à long terme sans mesures compensatoires, comme la fécondation.

Recommandations

En Suède, le Service national des forêts, avec l'appui de différents organismes, a formulé des recommandations sur la récolte d'arbres entiers dans différentes régions du pays. Cela se veut une tentative d'adapter différents types d'exploitation aux conditions régionales en termes de climat et de dépôts de polluants (figure 1).

Bibliographie

Lundkvist, H. 1988. Ecological effects of whole tree harvesting - some results from Swedish field experiments. *Dans* : (J.M. Williams & C.A. Gresham: Eds.) Predicting Consequences of Intensive Forest Harvesting on Long-Term productivity by site Classification. Actes d'un atelier qui a eu lieu à Hobcaw Barony, Georgetown (Car. du S.), États-Unis, 2-9 octobre 1987.

INTENSIVE HARVESTING AT WEYMOUTH POINT, MAINE: AN EVALUATION OF WATERSHED AND MICROSITE IMPACTS

C. Tattersall Smith, Department of Forest Resources, University of New Hampshire, Durham, New Hampshire, 03824, USA

Abstract

Research has been conducted at the Weymouth Point watersheds to evaluate the impact of whole-tree harvesting, residue management, and herbicide application on nutrient cycling and potential site productivity in the spruce-fir type. This evaluation indicates that important amounts of nutrients are lost by harvesting and leaching. Nutrient losses during harvest could be reduced by encouraging delimbing at the site; while rapid development of regeneration and plant uptake generally reduces leaching losses of nutrients. Whole-tree harvesting with large feller-forwarders results in significant site disturbance and exposure of bare mineral subsoils on the silt loam soils of the Chesuncook catena. Sites with bare mineral surface horizons have significantly less ability to produce plant-available N than sites with organic surface horizons. Increased mortality and reduced growth associated with site disturbance in spruce plantations may cause significant reductions in productivity during the next rotation.

EXPLOITATION INTENSIVE À WEYMOUTH POINT (MAINE) ÉVALUATION DES INCIDENCES SUR LE BASSIN VERSANT ET LA NICHE ÉCOLOGIQUE

C. Tattersall Smith
Département des ressources forestières, Université du New Hampshire, Durham (New Hampshire) 03824, États-Unis

Résumé

Des recherches ont été menées dans les bassins versants de Weymouth Point pour évaluer l'incidence de la récolte d'arbres entiers, du traitement des résidus et de l'épandage d'herbicides sur le cycle des éléments nutritifs et la productivité potentielle du site d'une forêt d'épinettes-sapins. Ces recherches nous révèlent que d'importantes quantités d'éléments nutritifs sont perdues par la récolte et par lessivage. Il est possible de réduire les pertes d'éléments nutritifs durant la récolte en préconisant l'ébranchage sur place; en revanche, la régénération rapide et l'assimilation par les végétaux réduisent généralement les pertes d'éléments nutritifs par lessivage. La récolte d'arbres entiers au moyen de grosses abatteuses-porteuses entraîne un important bouleversement du sol et la mise à nu du sous-sol minéral du limon de la chaîne de Chesuncook. Les sites qui ont des horizons minéraux de surface nus produisent sensiblement moins d'azote assimilable par les végétaux que les sites qui ont des horizons organiques de surface. La hausse du taux de mortalité et la baisse du taux de croissance liées au bouleversement du site d'une plantation d'épinettes risquent d'entraîner d'importantes baisses de productivité au cours de la révolution suivante.

Introduction

Intensive forest management has the potential to reduce forest site productivity if plant nutrient availability is reduced by various management activities. Numerous reserach projects have identified pathways by which nutrients are removed from forest watersheds, and have expressed concern about large-scale productivity reductions as a result of these nutrient losses (Hornbeck and Kropelin 1982; Mann *et al.* 1988; Likens *et al.* 1970). These projects have identified harvesting residue removal and delays in obtaining full site occupation by regeneration as major factors that contribute to increased watershed losses of nutrients. Plant nutrient availability may also be reduced on individual microsites if mechanical soil disturbance removes readily available supplies of nutrients contained in organic surface horizons. In this regard, nitrogen is of special concern because almost all plant supplies of nitrogen are derived from organic sources in the soil; and because nitrogen is frequently a nutrient which limits forest site productivity.

Research conducted since 1979 at the Weymouth Point watersheds in northern Maine has utilized a paired watershed approach to determine the impacts of whole-tree clearcutting (WTC), mechanical site disturbance, and aerial herbicide application on site nutrient reserves, streamwater chemistry, and soil nitrogen

Introduction

L'aménagement intensif des forêts risque de réduire la productivité des sites si l'assimilabilité des éléments nutritifs par les végétaux est amoindrie par diverses activités d'aménagement. De nombreux chercheurs ont établi que les déperditions de biomasse et les pertes par lessivage dans les cours d'eau constituent les principaux vecteurs d'épuisement des éléments nutritifs dans les bassins versants forestiers et ils craignent que ces pertes d'éléments nutritifs entraînent une baisse de la productivité à grande échelle (Hornbeck et Kropelin, 1982; Mann *et al.*, 1988; Likens *et al.*, 1970). Ces mêmes chercheurs ont établi que l'enlèvement des rémanents et le temps qui s'écoule avant que le site ne soit pleinement occupé par la régénération constituent les principaux facteurs qui contribuent à accroître la déperdition des éléments nutritifs dans les bassins versants. L'assimilabilité des éléments nutritifs est sans doute également réduite dans certaines niches écologiques si le bouleversement mécanique du sol entraîne l'épuisement des réserves d'éléments nutritifs facilement assimilables que contiennent les horizons organiques de surface. À cet égard, l'azote revêt une importance particulière car la plupart des plantes puisent l'azote dont elles ont besoin dans les horizons organiques du sol et que l'azote est souvent un élément nutritif qui limite la productivité des forêts.

Les recherches menées depuis 1979 dans les bassins versants de Weymouth Point dans le nord du Maine ont été réalisées par paires de bassins pour déterminer les incidences de la coupe rase d'arbres entiers, du bouleversement mécanique du sol et de l'épandage aérien d'herbicides sur les réserves d'éléments

availability. This research has been conducted within the context of a managed forest, where the long-term objective is to produce spruce-fir pulpwood and sawlogs. The nutrients of interest in these studies have included nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, and magnesium.

This paper will evaluate the impacts of intensive forest management at Weymouth Point from four perspectives: nutrient removal and redistribution; streamwater nutrient loss; site disturbance and nitrogen fertility; and nutrient dynamics after herbicide treatment.

Study area and methods

The Weymouth Point study area consists of a pair of adjacent watersheds in Piscataquis County, Maine. The soils are poorly to moderately well drained, coarse-loamy, mixed, frigid basal tills of the Chesuncook catena that were derived from slate and phyllite bedrock (Rourke *et al.* 1978). The forest is a two-aged red spruce - balsam fir stand that developed from the 1913-1919 spruce budworm epidemic. Prior to the harvest, there was an average of 3079 trees/ha with a total basal area of 48 m^2/ha. Eighty-two percent of the basal area was red spruce and balsam fir, and the remainder was other northern conifers and hardwoods (Smith *et al.* 1986).

nutritifs du site, sur la chimie de l'eau des cours d'eau et sur l'assimilabilité de l'azote du sol. Ces recherches ont été réalisées dans une forêt aménagée dont l'objectif à long terme était la production de bois de pâte d'épinette-sapin et de grume de sciage. Parmi les éléments nutritifs étudiés, mentionnons l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium et le magnésium.

Dans cet article, nous évaluerons les incidences de l'aménagement intensif des forêts à Weymouth Point sous quatre rapports : la déperdition et la redistribution des éléments nutritifs; l'entraînement d'éléments nutritifs dans les cours d'eau; le bouleversement du site et la fertilité de l'azote; et enfin la dynamique des éléments nutritifs après l'utilisation d'herbicides.

Région considérée et méthodes

La région de Weymouth Point comporte deux bassins versants attenants dans le comté de Piscataquis (Maine). Les sols sont des moraines de fond frigides, mixtes, loameuses grossières, mal à modérément bien drainées de la chaîne de Chesuncook qui proviennent d'un substratum rocheux d'ardoise et de phyllite (Rourke *et al.*, 1978). La forêt est un peuplement de sapins baumiers-épinettes rouges de deux âges qui s'est développé depuis l'épidémie de tordeuse des bourgeons de l'épinette de 1913-1919. Avant la récolte, on recensait en moyenne 3 079 arbres/ha avec une surface terrière totale de 48 m^2/ha. Quatre-vingt-deux pour cent de la surface terrière se composait d'épinettes rouges et de sapins baumiers et le reste d'autres résineux et feuillus nordiques (Smith *et al.*, 1986).

The 49-ha treatment watershed was whole-tree clearcut during June and July 1981. The entire above-ground portion of merchantable (dbh < 14 cm) trees was harvested either by large, rubber-tired feller-forwarders or track-mounted feller-bunchers working with rubber-tired grapple skidders. Merchantable trees were forwarded to landings and delimbed and topped (10 cm stem diameter) mechanically. Biomass and nutrient removals were estimated from equations developed from trees destructively sampled at the study area, as described by Smith *et al.* (1986). The entire watershed was clearcut, with the exception of a buffer strip of trees along the lower 450 m of the stream draining the clearcut. The adjacent, 73 ha watershed has been maintained as a control (uncut) watershed.

Le bassin versant opérationnel de 49 ha a fait l'objet d'une coupe rase par arbres entiers en juin et en juillet 1981. Toute la portion aérienne des arbres commercialisables (dhp < 14 cm) a été abattue au moyen soit de grosses abatteuses-porteuses sur pneus, soit d'abatteuses-empileuses sur rails équipées de débardeurs à pince sur pneus. Les arbres commercialisables ont été acheminés vers les premiers dépôts transitoires où ils ont été ébranchés et éhouppés (diamètre de la tige de 10 cm) par des moyens mécaniques. La déperdition de la biomasse et des éléments nutritifs a été estimée à partir d'équations formulées à propos d'arbres échantillonnés par des essais destructifs sur le site, comme l'ont décrit Smith *et al.* (1986). Le bassin versant tout entier a été coupé à blanc, à l'exception d'une zone tampon d'arbres située le long des 450 m inférieurs du cours d'eau drainant la coupe rase. Le bassin versant attenant de 73 ha a été conservé comme bassin témoin (non coupé).

Site disturbance after whole-tree clearcutting was determined at Weymouth Point by Martin (1988), and on a nearby clearcut by Turcotte (1988). Both researchers used line-transects to quantify various categories of soil disturbance caused by the feller-forwarding machinery. Turcotte stratified his study area according to soil drainage class to determine whether different amounts of soil disturbance occur across the Chesuncook catena. Nitrogen mineralization potential in disturbed and undisturbed soils was determined in a laboratory incubation study (Turcotte 1988).

Le bouleversement du site à l'issue de la coupe à blanc par arbres entiers a été calculé à Weymouth Point par Martin (1988) et sur une coupe rase avoisinante par Turcotte (1988). Les deux chercheurs se sont servi des transects linéaires pour quantifier diverses catégories de bouleversements du sol provoqués par les abatteuses-porteuses. Turcotte a stratifié son site en fonction de la classe de drainage du sol pour savoir si différents niveaux de bouleversement du sol se produisent à travers la chaîne de Chesuncook. Le potentiel de minéralisation de l'azote dans les sols perturbés et non perturbés a été calculé en laboratoire (Turcotte, 1988).

A conifer release operation was conducted on the clearcut watershed in August 1985, the fifth growing season after clearcutting. Triclopyr (butoxyethyl ester formation) was applied by a helicopter at an average rate of 2 kg ae/ha, as described by Smith *et al.* (1988).

Soil solution was sampled monthly from June through November from 1980 to 1988. The soil solution was extracted with porous ceramic cup tension lysimeters at depths of 25 cm and 50 cm in the soil. A pair of lysimeters were installed at both depths on each of 12 plots (20 x 20 m) on the treatment watershed, and four plots on the control watershed. Soil solution samples were analyzed for Ca, K, Na, Mg, NH_4, Cl, NO_3, SO_4, pH, and specific conductance.

Stream water samples were collected biweekly from May through November, and monthly from December through April from 1979 through 1988. Streamwater was analyzed for the same parameters as soil solution. Streamflow volume was estimated with the BROOK hydrologic simulation model (Federer and Lash 1978), which was calibrated with data from the Nashwaak Experimental Watersheds in New Brunswick, Canada. Streamwater losses of nutrients were estimated from the product of simulated water volume and nutrient concentrations for each watershed, as described by Hornbeck *et al.* (1987).

Une coupe de dégagement de résineux a été pratiquée sur le bassin versant coupé à blanc en août 1985, soit durant la cinquième saison de croissance après la coupe à blanc. Du Triclopyr (formule d'éther de butoxyéthyl) a été épandu par hélicoptère dans des proportions moyennes de 2 kg ae/ha, comme l'ont décrit Smith *et al.* (1988).

La solution du sol a fait l'objet d'un échantillonnage mensuel de juin à novembre entre 1980 et 1988. La solution du sol a été extraite au moyen de lysimètres à tension en thermomousse placés à des profondeurs de 25 cm et de 50 cm dans le sol. Une paire de lysimètres a été installée aux deux profondeurs sur chacune des 12 parcelles (20 X 20 m) du bassin versant opérationnel et sur quatre parcelles du bassin versant témoin. Les échantillons de solution du sol ont été analysés sous le rapport de Ca, K, Na, Mg, NH_4, Cl, NO_3, SO_4, du pH et enfin de la conductance.

Des échantillons d'eau ont été prélevés deux fois par semaine entre mai et novembre, et tous les mois entre décembre et avril de 1979 à 1988. L'eau a été analysée sous l'angle des mêmes paramètres que la solution du sol. Le volume des débits a été estimé à l'aide du modèle de simulation hydrologique de BROOK (Federer et Lash, 1978), lequel a été étalonné avec des données provenant des bassins versants expérimentaux de Nashwaak (Nouveau-Brunswick), au Canada. Les déperditions d'éléments nutritifs dans l'eau ont été évaluées à partir du produit du volume d'eau simulé et des concentrations d'éléments nutritifs de chaque bassin versant, comme l'ont décrit Hornbeck *et al.* (1987).

Table 1. Biomass and nutrient removals and redistributions estimated for a whole-tree clearcut at Weymouth Point, Maine. Estimates of exchangeable and total reserves of soil nutrients are made for the soil above the hardpan (54 cm).

Tableau 1. Estimation de la déperdition et de la redistribution de la biomasse et des éléments nutritifs dans une coupe à blanc d'arbres entiers à Weymouth Point (Maine). Les réserves échangeables et totales d'éléments nutritifs du sol concernent le sol au-dessus de l'horizon induré (54 cm).

	Biomass/Biomasse (Mg/ha)	N	P	K (kg/ha)	Ca	Mg
Whole-tree harvest Removals/ Pertes dues à la récolte arbres entiers	211	376	54	224	494	52
Roadside residues/ Résidus en bordure de route	50	231	31	75	221	21
Exchangeable Soil Nutrients/ Éléments nutritifs échangeables du sol		--	217	159	392	211
Total Site Capital/ Capital total du site		7261	2849	10393	11390	36593

Watershed inputs of nutrients were estimated from the product of bulk precipitation volume and nutrient concentration. Bulk precipitation was sampled in collectors as described by Likens *et al.* (1977). Precipitation samples were collected on the same schedule as stream water.

Les apports d'éléments nutritifs dans le bassin versant ont été estimés à partir du produit du volume de la quantité d'eau de précipitation et de la concentration des éléments nutritifs. La quantité d'eau de précipitation a été échantillonnée dans des collecteurs, comme l'ont décrit Likens *et al.* (1977). Les échantillons d'eau de précipitation ont été recueillis selon le même calendrier que l'eau des cours d'eau.

Vegetation changes following conifer release were quantified in 4 m radius circular plots around each lysimeter on the clearcut watershed in August 1986, using methods described by Smith *et al.* (1988). Species were grouped by conifer,

Les changements de végétation intervenus après la coupe de dégagement des résineux ont été quantifiés en août 1986 en parcelles circulaires dans un rayon de 4 m de chaque lysimètre sur le bassin versant coupé à blanc au moyen des

Table 2. Watershed losses of nutrients due to harvesting and 3-year increases in streamwater nutrient outputs compared with annual watershed nutrient budgets.

Tableau 2. Déperdition des éléments nutritifs du bassin versant dues à la récolte et augmentation en trois ans des entraînements d'éléments nutritifs dans l'eau par rapport au bilan nutritif annuel du bassin versant.

	N	P	K	Ca	Mg
			(kg/ha)		
W-T Harvest Removals/Déperditions dues à la récolte d'arbres entiers	376	54	224	494	52
Increases in 3-year Stream Outputs/Hausse sur trois ans des entraînements dans l'eau	6	0	29	43	13
			(kg/ha/yr)		
"Uncut" Annual (Input-Output) Budget/ Bilan annuel "non coupé" (entrées-sorties)	+4	0	-2	-15	-5

sedge, hardwood, raspberry, fireweed, grass and forb, and moss categories. Estimates of plant volume changes due to triclopyr were compared with nitrate concentrations in the soil solution to determine the relationship between nitrate leaching and site occupation by vegetation.

méthodes décrites par Smith *et al.* (1988). Les espèces ont été regroupées selon les catégories suivantes : résineux, feuillus, framboisiers, épilobes à feuilles étroites, herbe et carex, herbacés et mousse. On a comparé les changements estimés du volume végétal dus au triclopyr aux concentrations de nitrates dans la solution du sol pour établir la relation entre le lessivage des nitrates et l'occupation du site par la végétation.

Nutrient removals and redistribution

The whole-tree clearcut removed about 90% of the biomass and N, P, K, Ca, and Mg contained in the above-ground portions of the forest. Roadside delimbing resulted in significant increases in biomass and nutrient removals, since delimbing residues were about 25% of

Déperdition et redistribution des éléments nutritifs

La coupe à blanc par arbres entiers a éliminé environ 90 % de la biomasse et des éléments N, P, K, Ca et Mg contenus dans les portions aériennes de la forêt. L'ébranchage en bordure de route a entraîné des déperditions plus importantes de la biomasse et des éléments nutritifs, étant donné que les résidus de

WTC biomass removals, and from 33 to 61% of WTC nutrient removals (Table 1).

A simple comparison of WTC nutrient removals and soil reserves indicates that there has been negligible impact on the total supply of each element. For example, WTC removals are all <5% of total soil nutrient reserves. However, the magnitude of WTC harvest removals are relatively similar to exchangeable soil reserves of nutrients. This comparison indicates that exchangeable soil nutrients would only be capable of supplying from 0.7 to 4 rotation-equivalents of similar stands. Since the nutrient demands of successive rotations must be met by weathering of soil minerals and decomposition of organic matter, nutrient-rich harvesting residues should be left on the site when possible.

Streamwater nutrient loss

Streamwater losses of nutrients generally increase after whole-tree clearcutting (Mann *et al.* 1988). At Weymouth Point, streamwater outputs of nutrients increased immediately after harvest and remained elevated for a period of three years. The increased outputs for K, Ca, and Mg were greater than those for N and remained negligible for P (Table 2). Stream outputs were only slightly above precut levels by year four.

l'ébranchage constituaient environ 25 % des déperditions de la biomasse et de 33 % à 61 % des déperditions des éléments nutritifs de la coupe à blanc (tableau 1).

Une simple comparaison des déperditions d'éléments nutritifs par récolte d'arbres entiers et des réserves dans le sol indique que l'impact a été négligeable sur l'approvisionnement global en chacun des éléments. Par exemple, les déperditions par récolte d'arbres entiers sont toutes 5 % des réserves totales d'éléments nutritifs dans le sol. Toutefois, l'amplitude des déperditions par récolte d'arbres entiers est du même ordre que les réserves d'éléments nutritifs échangeables du sol. Cette comparaison nous apprend que les éléments nutritifs échangeables du sol ne sont capables de fournir qu'entre 0,7 et 4 équivalents-révolutions de peuplements analogues. Étant donné que les besoins nutritifs de révolutions successives doivent être satisfaits par l'altération des minéraux du sol et la décomposition de la matière organique, il convient de laisser sur le site, quand cela est possible, les rémanents de la récolte riches en éléments nutritifs.

Déperdition des éléments nutritifs dans l'eau

Les déperditions d'éléments nutritifs dans l'eau augmentent généralement après la récolte d'arbres entiers (Mann *et al.*, 1988). À Weymouth Point, les entraînements d'éléments nutritifs dans les cours d'eau ont augmenté immédiatement après la récolte et sont demeurés élevés pendant trois ans. L'augmentation des exportations de K, Ca et Mg a été supérieure à celle de N et est demeurée négligeable en ce qui con-

Hydrologic losses of nutrients due to harvest were minor in comparison to harvest removals (Table 2). For example, WTC removals of N were 125X greater than increased 3-year losses via streamwater. However, since leaching losses come from exchangeable (plant-available) supplies of nutrients, there may be a shortage of plant-available nutrients during periods of rapid vegetative growth in the next rotation.

Estimates of watershed input-output balances for K, Ca, and Mg indicate that harvest and leaching losses will not be replenished by atmospheric deposition, since acidic deposition generally results in net losses of nutrient cations (Table 2). The nitrogen budget for uncut watersheds indicates that reserves of this element will be replenished if rotations are sufficiently long, or about 100 years according to these estimates. These results are consistent with those reported for other watersheds in the Northeast (Freedman 1981); and they indicate the importance of mobile, acidic anions, such as nitrate from atmospheric or biological sources, in contributing to the long-term depletion of basic cations, such as K, Ca, and Mg, from northeastern forest soils. Rapid revegetation of harvested sites would help to reduce soil leaching after harvesting.

cerne P (tableau 2). Les exportations dans les cours d'eau n'ont été que légèrement supérieures aux niveaux avant la coupe la quatrième année.

Les pertes hydriques d'éléments nutritifs attribuables à la récolte étaient minimes par rapport aux pertes d'exploitation (tableau 2). Par exemple, les déperditions d'azote dues à la récolte d'arbres entiers étaient 125 fois supérieures aux pertes hydriques sur trois ans. Toutefois, étant donné que les pertes par lessivage proviennent de réserves d'éléments nutritifs échangeables (assimilables par les végétaux), il se peut qu'il y ait carence d'éléments nutritifs assimilables par les végétaux durant les périodes de rapide croissance végétale à la révolution suivante.

L'estimation des bilans de K, Ca et Mg dans le bassin versant indique que les pertes par récolte et par lessivage ne seront pas comblées par les dépôts atmosphériques, étant donné que les dépôts acides entraînent généralement une perte nette des cations des éléments nutritifs (tableau 2). Le bilan de l'azote dans les bassins versants non coupés indique que les réserves de cet élément seront reconstituées si les révolutions sont suffisamment longues, ou qu'elles durent environ 100 ans selon ces estimations. Ces résultats concordent avec ceux enregistrés dans d'autres bassins versants du nord-est (Freedman, 1981); et ils indiquent toute l'importance des anions acides mobiles comme les nitrates d'origine atmosphérique ou biologique, qui contribuent à l'épuisement à long terme des cations basiques comme K, Ca et Mg dans les sols forestiers du nord-est. La revégétation rapide des sites exploités devrait contribuer à réduire le lessivage du sol après la récolte.

Site disturbance and nitrogen fertility

Bare mineral soil and wheel ruts occupied from 20 to 40% of the surface of a whole-tree clearcut conducted in spring in the Weymouth Point area; while intact organic horizons and harvest residues were found on the remaining 60 to 80% of the clearcut (Turcotte 1988).

Mechanical soil disturbance was significantly greater on somewhat poorly and poorly drained soils than on moderately well drained soils. The high-flotation tires of the large feller-forwarder clearly were not adequate to prevent significant site disturbance on wet soils. These moderate and severe forms of soil disturbance may reduce future stand productivity due to removal of nitrogen-rich organic horizons and destruction of advanced conifer regeneration.

Laboratory studies indicated the nitrogen mineralization potential of bare mineral soil was significantly lower than soil with an intact organic pad (Turcotte 1988). Since the nitrogen mineralization potential is an index of the ability of the soil to produce plant-available forms of N (NH_4 and NO_3), these studies indicate that organic matter removal reduces site fertility, and that bare mineral soils are probably poorer planting sites than ones with intact organic horizons.

Observations of spruce plantations in the Weymouth Point area indicate that sig-

Bouleversement du site et fertilité de l'azote

Entre 20 % et 40 % de la superficie d'une coupe à blanc d'arbres entiers pratiquée au printemps dans la région de Weymouth Point étaient occupés par du sol minéral nu et les ornières creusées par les roues, alors que les 60 % à 80 % restants étaient occupés par des horizons organiques intacts et les résidus d'exploitation (Turcotte, 1988).

Le dérangement mécanique du sol était sensiblement plus grand sur les sols assez mal et mal drainés que sur les sols modérément bien drainés. Les pneumatiques à portance élevée de la grosse abatteuse-porteuse n'ont apparemment pas suffi à empêcher un dérangement important du sol humide. Ces formes modérées et graves de dérangement du sol risquent de réduire la productivité future du peuplement en raison de l'enlèvement d'horizons organiques riches en azote et de l'impossibilité d'une régénération avancée des résineux.

Des études en laboratoire ont révélé que le potentiel de minéralisation de l'azote du sol minéral nu était sensiblement inférieur à celui du sol dont l'horizon organique était intact (Turcotte, 1988). Étant donné que le potentiel de minéralisation de l'azote est un indice de la capacité du sol à produire des formes d'azote assimilables par les végétaux (NH_4 et NO_3), ces études nous apprennent que l'élimination de la matière organique amoindrit la fertilité du site et que les sols minéraux nus sont sans doute de moins bons sites à planter que les sols dont l'horizon organique est intact.

Nos observations de plantations d'épinettes dans la région de Weymouth

nificant reductions in growth and increased mortality are associated with bare mineral microsites. Field and laboratory research will be required to quantify the relationship between site condition, nutrient supply, and plantation growth; however, the reductions in microsite fertility due to mechanical soil disturbance may be more significant for the productivity of the next rotation than nutrient losses associated with harvesting and leaching.

Point révèlent que d'importantes baisses de croissance et une hausse du taux de mortalité sont associées à des microstations minérales nues. Des études sur le terrain et en laboratoire s'imposent pour quantifier la relation entre l'état du site, les réserves d'éléments nutritifs et la croissance de la plantation; toutefois, les baisses de fertilité d'une microstation dues au dérangement mécanique du sol revêtent sans doute plus d'importance pour la productivité de la prochaine révolution que les pertes d'éléments nutritifs attribuables à la récolte et au lessivage.

Nutrient dynamics after herbicide treatment

Nitrate concentrations in soil solution increased in the first month after triclopyr application, and were sustained during the following growing season (Smith *et al.* 1988). The largest increase in nitrate occurred in the moderately well drained soils, while somewhat poorly and poorly drained soils had much smaller increases. The seasonal and soil drainage class patterns in nitrate changes were similar to those observed after clearcutting.

Dynamique des éléments nutritifs après l'épandage d'herbicides

Les concentrations de nitrates dans la solution du sol ont augmenté le premier mois après l'épandage de triclopyr et ont été soutenues durant la saison de croissance suivante (Smith *et al.*, 1988). La plus forte hausse des concentrations de nitrates s'est produite dans les sols modérément bien drainés alors que les sols assez mal et mal drainés ont accusé des hausses nettement moindres. Les schémas saisonniers et les types de drainage du sol intervenant dans ces changements étaient analogues à ceux que l'on avait observés après une coupe à blanc.

Nitrate leaching increases were related to both the soil nitrification potential and the reduction in vegetative cover due to the herbicide. Moderately well drained soils with more aerobic mineral horizons probably have greater populations of nitrifier organisms, followed by somewhat poorly and poorly drained soils. Nitrate leaching was greatest in areas with vegetation that was sensitive to the triclopyr. Hardwood, raspberry, fireweed, and forb cover was reduced by triclopyr

L'accroissement du lessivage des nitrates avait un rapport à la fois avec le potentiel de nitrification du sol et la réduction de la couverture végétale due aux herbicides. Les sols modérément bien drainés avec des horizons minéraux plus aérobies ont sans doute des populations d'organismes nitrifiants plus nombreuses, suivis par les sols assez mal drainés et les sols mal drainés. Le lessivage des nitrates était particulièrement élevé dans les régions dont la végétation

more than conifer, grass and sedge, and moss cover, due to herbicide selectivity. As expected, nitrate leaching was negligible in areas where site occupancy was not reduced significantly.

Streamwater outputs of nitrogen were increased after herbicide application; however, the estimated annual losses of nitrate-N were smaller than after clearcutting, and were minor in comparison to WTC harvest removals of N. The effect of these leaching losses on site productivity is probably similar to harvest-related leaching losses, in that these losses come from plant-available supplies in the soil. Leaching losses after herbicide would be negligible if treated sites were more fully occupied by conifer regeneration. These results suggest the timing of herbicide applications should be related to crop tree development so that increased nitrogen availability after herbicide does not merely contribute to nutrient leaching losses.

Literature cited

Federer, C.A., and Lash, D. 1978. BROOK: a hydrologic simulation model for eastern forests. Research Report No. 19, Water Resource Research Center, Univ. of New Hampshire, Durham. 84 pp.

était vulnérable au triclopyr. Les feuillus, les framboisiers, les épilobes à feuilles étroites et le couvert herbacé étaient plus affectés par le triclopyr que les résineux, l'herbe et le carex et la couverture de mousse, en raison de la sélectivité des herbicides. Comme on pouvait s'y attendre, le lessivage des nitrates était négligeable dans les régions où l'occupation du site n'a pas subi de baisse draconienne.

L'élimination des nitrates dans l'eau augmente après l'épandage d'herbicides; toutefois, les pertes annuelles estimées d'azote nitrique sont moindres qu'après une coupe à blanc et sont minimes par rapport aux pertes d'azote dues à la récolte. L'effet de ces pertes par lessivage sur la productivité du site est sans doute analogue aux pertes par lessivage liées à la récolte, en ce sens que ces pertes affectent les réserves assimilables par les végétaux dans le sol. Les pertes par lessivage après l'épandage d'herbicides seraient négligeables si les sites opérationnels étaient davantage occupés par la régénération des résineux. On voit d'après ces résultats que le moment d'épandre les herbicides doit être fonction du développement des arbres d'avenir afin que la plus grande quantité d'azote assimilable après l'épandage d'herbicides ne contribue pas seulement à l'épuisement des éléments nutritifs par lessivage.

Bibliographie

Federer, C.A. and D. Lash. 1978. BROOK: A hydrologic simulation model for eastern forests. Research Report No. 19, Water Resour. Res. Center, Univ. of New Hampshire, Durham. 84 pp.

Freedman, B. 1981. Intensive forest harvest: a review of nutrient budget considerations. Forestry Canada - Maritimes Region Information Report M-X-121.

Hornbeck, J.W., Federer, C.A., and Pierce, R.S. 1987. Effects of whole-tree clearcutting on stream flow can be adequately estimated by simulation. *pp.* 565-573 *in* Proc. of the Vancouver Symposium, Forest Hydrology and Watershed Management, Aug. 1987. IAHS-AISH Publ. No. 167.

Hornbeck, J.W., and Kropelin, W. 1982. Nutrient removal and leaching from a whole-tree harvest of northern hardwoods. J. Environ. Qual. 11(2): 309-316.

Likens, G.E., Bormann, F.H., Johnson, N.M., Fisher, D.W., and Pierce, R.S. 1970. Effects of forest cutting and herbicide treatment on nutrient budgets in the Hubbard Brook watershed ecosystem. Ecol. Monogr. 40: 23-47.

Likens, G.E., Bormann, F.H., Pierce, R.S., Eaton, J.S., and Johnson, N.M. 1977. Biogeochemistry of a forested ecosystem. Springer-Verlag, New York. 146 pp.

Mann, L.K., Johnson, D.W., West, D.C., Cole, D.W., Hornbeck, J.W., Martin, C.W., Reikerk, H., Smith, C.T., Swank, W.T., Tritton, L.M., and van Lear, D.W. 1988. Effects of whole-tree and stem-only clearcutting on postharvest hydrologic losses, nutrient capital, and regrowth. For. Sci. 34(2): 412-428.

Martin, C.W. 1988. Soil disturbance by logging in New England: review and management recommendations. Nor. J. App. For. 5(1): 30-35.

Freedman, B. 1981. Intensive forest harvest: a review of nutrient budget considerations. Service canadien des forêts, Centre de recherches forestières des Maritimes, Rapp. d'inf. M-X-121.

Hornbeck, J.W., C.A. Federer and R.S. Pierce. 1987. Effects of whole-tree clearcutting on stream flow can be adequately estimated by simulation. pp. 565-573. Dans : Actes du colloque de Vancouver, Forest Hydrology and Watershed Management, août 1987. IAHS-AISH, Publ. n 167.

Hornbeck, J.W. and W. Kropelin. 1982. Nutrient removal and leaching from a whole-tree harvest of northern hardwoods. J. Environ. Qual. 11(2): 309-316.

Likens, G.E., F.H. Bormann, N.M. Johnson, D.W. Fisher, and R.S. Pierce. 1970. Effects of forest cutting and herbicide treatment on nutrient budgets in the Hubbard Brook watershed ecosystem. Ecol. Monogr. 40: 23-47.

Likens, G.E., F.H. Bormann, R.S. Pierce, J.S. Eaton, and N.M. Johnson. 1977. Biogeochemistry of a forested ecosystem. Springer-Verlag, New York. 146 pp.

Mann, L,K., D.W. Johnson, D.C. West, D.W. Cole, J.W. Hornbeck, C.W. Martin, H. Reikerk, C.T. Smith, W.T. Swank, L.M. Tritton, and D.W. Van Lear. 1988. Effects of whole-tree and stem-only clearcutting on postharvest hydrologic losses, nutrient capital, and regrowth. For. Sci. 34(2): 412-428.

Martin, C.W. 1988. Soil disturbance by logging in New England: review and management recommendations. Nor. J. App. For. 5(1): 30-35.

Rourke, R.V., Ferwerda, J.A., and LaFlamme, K.J. 1978. The soils of Maine. Misc. Rep. No. 203, Univ. of Maine, Orono.

Smith, C.T., Hornbeck, J.W., and McCormack, M.L. Jr. 1988. Changes in nutrient cycling following aerial application of triclopyr to release spruce-fir. Proc. Northeastern Weed Sci. Soc. 42: 94-99.

Smith, C.T. Jr., McCormack, M.L. Jr., Hornbeck, J.W., and Martin, C.W. 1986. Nutrient and biomass removals from a red spruce - balsam fir whole-tree harvest. Can. J. For. Res. 16: 381-388.

Turcotte, D.E. 1988. Mechanically disturbed forest soil on three drainage classes: spatial distribution and effects on potential nitrogen availability. M.S. Thesis, Univ. of New Hampshire, Durham, 88 pp.

Rourke, R.V., J.A. Ferwerda, and K.J. LaFlamme. 1978. The soils of Maine. Misc. Rep. No. 203. Univ. of Maine, Orono.

Smith, C.T., J.W. Hornbeck, and M.L. McCormack, Jr. 1988. Changes in nutrient cycling following aerial application of triclopyr to release spruce-fir. Proc. Northeastern Weed Sci. Soc. 42: 94-99.

Smith, C.T., Jr., M.L. McCormack, Jr., J.W. Hornbeck, and C.W. Martin. 1986. Nutrient and biomass removals from a red spruce - balsam fir whole-tree harvest. Can. J. For. Res. 16: 381-388.

Turcotte, D. E. 1988. Mechanically disturbed forest soil on three drainage classes: spatial distribution and effects on potential nitrogen availability. Mémoire de maîtrise. Univ. of New Hampshire, Durham. 88 pp.

NUTRIENT DEPLETION: A PROBLEM FOR FORESTS IN NEW ENGLAND AND EASTERN CANADA?

James W. Hornbeck
USDA Forest Service
Durham, New Hampshire

During the past decade, the rapidly expanding use of biomass harvesting, increased product removals, and shorter rotations have raised legitimate concerns about depletion of nutrients from forests. The concerns are magnified when it is remembered that many forested sites in New England and eastern Canada had past uses, such as cropping, grazing, or timber harvest, that involved substantial nutrient removals. Also, in more recent times, these forests have been subjected to atmospheric deposition which accelerates nutrient losses. Thus, it is not surprising that we are more frequently hearing questions about whether there will continue to be an adequate supply of nutrients for maintaining optimum productivity of our forests.

Forest managers must take these concerns and questions seriously, and begin to incorporate nutrient cycling into management activities and decisions. To do so it is necessary to learn about nutrient movement into, within, and out of forests, and about how to keep as much of the nutrient capital as possible within the forest and available for plant growth. This paper illustrates the kinds of information needed and gives some recommendations for protecting forest nutrient cycles.

ÉPUISEMENT DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS : LE PROBLÈME EST-IL PROPRE AUX FORÊTS DE NOUVELLE-ANGLETERRE ET DE L'EST DU CANADA?

James W. Hornbeck
USDA Forest Service
Durham (New Hampshire) 03824

Depuis dix ans, la généralisation de la récolte de la biomasse, l'élimination accrue des produits et la durée plus courte des révolutions soulèvent des préoccupations légitimes sur l'épuisement des éléments nutritifs dans les forêts. Ces appréhensions prennent d'autant plus d'ampleur qu'on se souvient que de nombreux sites forestiers de Nouvelle-Angleterre et de l'est du Canada ont fait l'objet d'opérations de gemmage, de pâturage ou de récolte du bois qui se sont accompagnées d'importantes déperditions d'éléments nutritifs. Par ailleurs, plus récemment, ces forêts ont été soumises à des dépôts atmosphériques qui accélèrent les pertes d'éléments nutritifs. Il n'est donc pas surprenant qu'on nous demande fréquemment si les réserves d'éléments nutritifs suffiront à assurer la productivité optimum de nos forêts.

Les aménagistes forestiers doivent prendre ces appréhensions et ces questions au sérieux et commencer à intégrer le recyclage des éléments nutritifs dans leurs activités et leurs décisions d'aménagement. Pour ce faire, ils doivent savoir comment s'opèrent les mouvements d'éléments nutritifs dans les forêts et en dehors et comment conserver la plus grande part possible du capital nutritif dans la forêt pour qu'elle puisse être assimilée par les végétaux pour leur croissance. La présente communication

Calcium as an example

Calcium is a logical element for illustrating nutrient considerations. Harvest removes a substantial amount of calcium in forest products and also triggers increased leaching of calcium from forest soils to streams and groundwater. A recent paper by Federer *et al.* (1989) has demonstrated the need to be concerned about depletion of calcium from forests.

A variety of pools and pathways are involved in supplying calcium for tree growth. Likens et al. (1977) show that the calcium cycle for northern hardwood forests can be divided into at least eight major pools and 13 interrelated pathways for transfer of calcium from one pool to another. Though it is well to fully understand the calcium cycle, forest managers can make decisions with only general indications of amounts of calcium stored in some of the pools.

This can be illustrated using data on calcium capitals available for three major forest types in New England where the USDA Forest Service and others have studied impacts of biomass harvesting (Table 1). Two of the ty pes, spruce-fir and northern hardwoods, are found over sizable areas of eastern Canada as well. The calcium values for the mineral soil horizons and forest floor given in Table 1 are for material that will pass through a 2-mm sieve. This size fraction is the Table 1. Calcium data for mature forests in New England. The data were derived from

illustre ces données et contient certaines recommandations visant à la protection des cycles des éléments nutritifs dans les forêts.

L'exemple du calcium

Le calcium est un élément qui illustre fort bien notre propos. L'abattage élimine une quantité importante du calcium qui se trouve dans les produits forestiers et provoque également une augmentation du lessivage du calcium des sols forestiers dans les cours d'eau et les eaux souterraines. Dans un récent article, Federer *et al.* (1989) ont démontré qu'il faut absolument se préoccuper de l'épuisement du calcium dans les forêts.

L'approvisionnement des arbres en calcium passe par toute une variété de pools et de voies. Likens *et al.* (1977) affirment que le cycle du calcium dans les forêts de feuillus du nord peut se diviser en au moins huit grand pools et 13 voies interdépendantes de passage du calcium d'un pool à un autre. Même s'il est utile de bien comprendre le cycle du calcium, les aménagistes forestiers sont capables de prendre des décisions avec seulement quelques données générales sur les quantités de calcium que contiennent certains des pools.

Pour illustrer ce phénomène, nous nous servirons de données sur le capital calcium dont disposent trois grands types de forêts de Nouvelle-Angleterre où le USDA Forest Service et d'autres organismes ont étudié les incidences de la récolte de la biomasse (tableau 1). Deux types, les forêts d'épinettes-sapins et de feuillus nordiques, couvrent également des superficies importantes de l'est du Canada. Les valeurs du calcium relatives aux horizons du sol minéral et à la couverture

Hornbeck and Kropelin (1982), Tritton *et al.* (1982), and Smith *et al.* (1986).

source of most nutrients available for

Tableau 1. Données sur le calcium dans les forêts mûres de Nouvelle-Angleterre. Ces données sont tirées de Hornbeck et Kropelin (1982), Tritton *et al.* (1982) et Smith *et al.* (1986).

Forest type and location/Type de forêt et emplacement	Calcium					Input in precipitation/ Apport par les précipitations	Output in streamflow/ Entraînement dans les eaux d'écoulement	Net
	Mineral horizons/ Horizons minéraux	Forest floor/ Couverture morte	Above-ground whole trees/ Arbres entiers au-dessus du sol	Merchantable boles/ Fûts commercialisables	Roots/ Racines			
	kg/ha					kg/ha/yr		
Northern hardwoods Success, NH/ Feuillus nordiques, Success (HN)	7,570	490	360	224	120	1	15	-14
Spruce-fir, Weymouth Point, ME/ Épinettes-sapins, Weymouth Point (ME)	10,330	380	540	255	190	1	16	-15
Central hardwoods, Cockaponsett State Forest, CT/ Feuillus du centre, forêt d'État de Cockaponsett (CT)	3,320	100	590	451	240	2	10	-8

plant growth. Particles greater than 2 mm, up to and including large boulders, probably contain several times the calcium found in the less than 2 mm fraction. However, this calcium in larger size fractions is usually tightly bound and is converted to plant available forms very slowly, sometimes at rates as low as a few kg/ha/century.

morte qui figurent au tableau 1 concernent les matériaux qu'une passoire de 2mm laissera passer. Cette fraction granulométrique est la source de la plupart des éléments nutritifs assimilables par les végétaux pour leur croissance. Les particules supérieures à 2mm, jusqu'aux gros blocs, contiennent sans doute plusieurs fois la quantité de calcium que l'on trouve dans une fraction inférieure à 2mm. Toutefois, le calcium en plus grosses fractions granulométriques est généralement étroitement agglutiné et se transforme très lentement en formes assimilables par les végétaux, parfois au rythme d'à peine quelques kg/ha/siècle.

The combined calcium found in mineral soil particles and forest floor can vary greatly among sites and forest types. For the three study sites, total calcium in these two important pools ranged from about 3,400 kg/ha for the central hardwoods in Connecticut to more than 10,700 kg/ha at the spruce-fir site in Maine (Table 1). Calcium in above-ground whole trees ranged from 360 to 590 kg/ha, or 4 to 17% of the total found in the forest floor and mineral soil. A small amount of calcium, 1-2 kg/ha, is added to forest ecosystems in annual precipitation (Table 1). In turn, 8 to 15 kg/ha are lost each year as dissolved calcium in streamflow.

Le calcium combiné que l'on trouve dans les particules de sol minéral et dans la couverture morte peut varier considérablement selon le site et le type de forêt. Pour les trois sites considérés, la quantité totale de calcium dans ces deux pools importants variait d'environ 3 400 kg/ha pour les feuillus du centre du Connecticut à plus de 10 700 kg/ha dans la forêt d'épinettes-sapins du Maine (tableau 1). Le calcium dans la partie aérienne des arbres variait de 360 à 590 kg/ha, soit de 4 % à 17 % de la quantité totale enregistrée dans la couverture morte et le sol minéral. Une petite quantité de calcium, 1-2kg/ha, est apportée dans les écosystèmes forestiers par les précipitations annuelles (tableau 1). En revanche, de 8 à 15 kg/ha sont perdus chaque année par dissolution dans les eaux d'écoulement.

Impacts of Harvest

Harvesting has two major impacts on calcium capitals. First, the calcium incorporated in the harvested products is lost from the site. Second, for the first few years after harvest, the cutover site is less efficient than mature forests at cycling calcium. As a result, more calcium leaches from the cutover site, increasing the amount of dissolved calcium lost in streamflow.

Incidences de la récolte

La récolte a deux grosses incidences sur le capital calcium. En premier lieu, le calcium que contiennent les produits abattus, constitue une perte pour le site. En deuxième lieu, pendant les premières années qui suivent la récolte, la forêt coupée à blanc parvient moins bien qu'une forêt mûre à refaire le cycle du calcium. Il s'ensuit qu'une plus grande quantité de calcium est lessivée hors du site coupé à blanc, ce qui augmente la quantité de calcium dissous perdu dans les eaux d'écoulement.

For the three sites listed in Table 1, calcium in the biomass removed during a whole-tree harvest was 344 kg/ha for northern hardwoods, 494 kg/ha for spruce-fir, and 530 kg/ha for central hardwoods. Losses of calcium in streamwater approximately doubled in the first year after whole-tree harvesting, ranging

À propos des trois sites qui figurent au tableau 1, le calcium de la biomasse éliminé au cours de la récolte d'arbres entiers s'élevait à 0,344 kg/ha pour les feuillus nordiques, à 494 kg/ha pour les forêts d'épinettes-sapins et à 530 kg/ha pour les feuillus du centre. Les déperditions de calcium dans les eaux

from an increase of 10 kg/ha in central hardwoods to 23 kg/ha in spruce-fir. The increases nearly disappeared by the end of the third year after harvest, but totals of increased losses to leaching for the three years were 30 kg/ha for northern hardwoods, 43 kg/ha for spruce-fir, and 28 kg/ha for central hardwoods.

One way of evaluating these losses is in terms of how they drain the capitals of the forest floor and mineral soil. For example, combined leaching losses and removals of calcium for the spruce-fir site (537 kg/ha) represent a depletion of about 5% of the capital in the forest floor and mineral soil (10,770 kg/ha). This rather small depletion of a fairly large calcium capital would not seem to present a problem for future productivity. On the other hand, the leaching losses and removals for the central hardwood site (558 kg/ha) represent a depletion of over 16% of the capital in the forest floor and mineral soil (3,420 kg/ha). The greater depletion of an already small capital raises a red flag regarding future productivity.

Past land use

New England states are currently 60 to 90% forested. Nearly all of this forest is second or third growth arising after past harvests or clearing for crops or grazing. In many cases, the early harvests were intensive and were followed by fire in the logging slash. Thus, nearly every harves-

d'écoulement ont à peu près doublé la première année après la récolte d'arbres entiers, accusant une hausse de 10 kg/ha dans les feuillus du centre à 23 kg/ha dans les forêts d'épinettes-sapins. Ces augmentations avaient pratiquement disparu à la fin de la troisième année suivant la récolte, même si les déperditions totales par lessivage pour les trois ans s'établissent à 30 kg/ha pour les feuillus du nord, à 43 kg/ha pour les forêts d'épinettes-sapins et à 28 kg/ha pour les feuillus du centre.

Un moyen d'évaluer ces déperditions consiste à s'interroger sur la façon dont elles drainent le capital calcium de la couverture morte et du sol minéral. Par exemple, les déperditions conjuguées aux éliminations de calcium par lessivage dans la forêt d'épinettes-sapins (537 kg/ha) représentent un épuisement d'environ 5 % du capital de la couverture morte et du sol minéral (10 770 kg/ha). Cet épuisement relativement réduit d'un capital calcium assez important ne semble pas présenter de problèmes pour la productivité future. En revanche, les pertes et les éliminations par lessivage dans la forêt de feuillus centrale (558 kg/ha) représentent un épuisement de plus de 16 % du capital de la couverture morte et du sol minéral (3 420 kg/ha). L'épuisement plus important d'un capital déjà réduit constitue un signal d'alarme pour la productivité future.

Utilisation passée des terres

Les États de Nouvelle-Angleterre sont aujourd'hui recouverts de forêt dans une proportion de 60 % à 90 %. La quasi-totalité de cette forêt est constituée d'arbres de seconde et de troisième pousses après des récoltes ou des coupes effectuées pour en faire des terres de

table site in New England has a 100- to 200-year history of human activity that, in turn, has had impacts on nutrients.

culture ou de pâturage. Dans bien des cas, les premières récoltes ont été intensives et ont été suivies par des incendies dans les rémanents d'exploitation. Ainsi, presque chaque site exploitable en Nouvelle-Angleterre a derrière lui 100 à 200 ans d'histoire d'activité humaine, ce qui n'est pas sans incidences sur les éléments nutritifs.

Recent studies show that this history can often be reconstructed in considerable detail using court records, census data, tax records, and physical artifacts. For example, an investigation by Bormann (1982) showed that an area nearby and similar to the site of our whole-tree harvest study in New Hampshire was cleared for agriculture in the early 1800s. The clearing included burning, and removed an estimated 320 Mt/ha of forest biomass.

Cropping over the next several decades removed an estimated 2.3 -3.9 Mt/ha/yr. Using nutrient contents from forest and agriculture literature, I calculated that biomass removed from the start of land clearing until reversion to forest in the early 1900s included approximately 1,000 kg/ha of calcium.

De récentes études nous apprennent que cette histoire peut souvent être reconstruite dans le menu détail au moyen des archives des tribunaux, des données de recensement, des registres fiscaux et de certains artefacts physiques. Par exemple, une étude de Bormann (1982) nous apprend qu'une région proche du site de notre récolte d'arbres entiers au New Hampshire et pareille à lui a été dégagée pour l'agriculture au début des années 1800. Cette coupe a été suivie du brûlage du site, ce qui a éliminé environ 320 Mt de biomasse forestière par ha. L'exploitation agricole qui a duré plusieurs dizaines d'années a éliminé entre 2,3 et 3,9 Mt/ha/an. En nous basant sur les teneurs en éléments nutritifs que l'on trouve dans les ouvrages de foresterie et d'agriculture, nous avons calculé que la biomasse éliminée entre la première coupe et le retour à la forêt au début des années 1900 contenait environ 1 000 kg de calcium par ha.

The site for our whole-tree harvest study in Connecticut was cleared for grazing sometime prior to 1850, then allowed to revert to forest around the turn of the century. My rough calculations again suggest calcium removals of about 1,000 kg/ha from clearing and grazing, or about the same as estimated for early land uses on the New Hampshire site. The history of the spruce-fir study site in Maine has proven more difficult to reconstruct. There

Le site de notre récolte d'arbres entiers au Connecticut a été coupé pour faire place à un pâturage avant 1850 avant d'être restitué à l'état de forêt au tournant du siècle. Selon des calculs approximatifs, cela a occasionné des déperditions de calcium d'environ 1 000 kg par hectare, soit à peu près les mêmes quantités que pour le site du New Hampshire. L'historique du site de la forêt d'épinettes-sapins dans le Maine a été plus difficile à

are no good cutting records, but the forest on the control catchment shows evidence of logging, most likely from one or more selection cuttings within the past century (Coolidge 1963).

reconstituer. Il n'existe pas de bons registres sur les coupes même si la forêt du bassin versant témoin porte des signes d'exploitation, vraisemblablement d'une ou de plusieurs coupes d'écrémage au siècle passé (Coolidge, 1963).

Thus, of the three study sites, the potential for cumulative effects of past land use and present day intensive harvests would be least for the spruce-fir forest in Maine. In the absence of complete clearing and heavy cutting, past nutrient removals were probably small and total nutrient capitals, as illustrated by calcium, are substantial (Table 1). The removals from northern hardwood sites in New Hampshire may be more of a consideration. Bormann (1982) found that forest recovery following agricultural disturbance was slower than on sites that had only been logged, possibly because of nutrient deficiencies.

Ainsi, sur les trois sites considérés, c'est la forêt d'épinettes-sapins du Maine qui présente le moindre potentiel d'effets cumulatifs de l'utilisation passée des terres et de l'exploitation intensive d'aujourd'hui. Compte tenu de l'absence d'une coupe à blanc intégrale et de coupes importantes, les déperditions d'éléments nutritifs ont sans doute été limitées et le capital total d'éléments nutritifs, tel qu'illustré par le calcium, est important (tableau 1). Les déperditions dans la forêt de feuillus du nord du New Hampshire présentent sans doute plus d'intérêt. Bormann (1982) a constaté que le taux de récupération d'une forêt suite à un dérangement agricole est plus lent que sur un site qui n'a été que coupé, sans doute en raison de carences nutritives.

Consideration of past land use is an absolute necessity for sites like the central hardwood forest in Connecticut. Present-day nutrient capitals are small, as evidenced by the total of just of over 3,400 kg/ha of calcium in mineral soil and forest floor (Table 1), partly because of removals during earlier land uses. Any additional removals and leaching losses could have serious consequences for site productivity.

Il faut absolument tenir compte de l'utilisation passée des terres en ce qui concerne les sites comme la forêt de feuillus du centre du Connecticut. Le capital actuel d'éléments nutritifs est réduit comme en témoigne la quantité totale de calcium qui est à peine supérieure à 3 400 kg/ha dans le sol minéral et la couverture morte (tableau 1), ce qui s'explique en partie par les déperditions résultant de l'utilisation antérieure des terres. Toute autre élimination et les pertes par lessivage risquent d'avoir des conséquences graves sur la productivité du site.

Atmospheric deposition

Mobile anions, such as sulfate (SO_4) and nitrate (NO_3), associated with atmospheric deposition raise concerns over calcium depletion beyond those associated with nutrients removed or lost during harvesting. Input-output budgets for mature forests at all three study sites show a net annual loss of calcium (Table 1). The mobile anions in acid precipitation are probably responsible (Federer *et al.* 1989). As the anions pass through the forest ecosystem, the hydrogen ions they were coupled with in precipitation are exchanged for other cations, such as calcium, potassium, and magnesium. The hydrogen ions stay behind to acidify the ecosystem while the cations are leached to streams and groundwater. The net losses appear small on an annual basis (Table 1), but assume greater importance when extrapolated over longer times, such as a 100-year rotation. For example, net losses of calcium to leaching over such a rotation may total 800 to 1,500 kg/ha. Slight increases in leaching losses immediately after harvest coupled with removal of as much as another 500 to 800 kg/ha in harvested products (over a 100-year rotation) could mean a total depletion of from 20 to 40% of calcium capital for the rotation. Our studies indicate that additional inputs from rock breakdown, root-zone deepening, and dry deposition cannot begin to replace this lost calcium (Federer *et al* 1989).

Dépôts atmosphériques

Les anions mobiles comme les sulfates (SO_4) et les nitrates (NO_3) associés aux dépôts atmosphériques soulèvent des inquiétudes sur l'épuisement du calcium qui dépassent les craintes que suscitent les éléments nutritifs entraînés ou perdus par la récolte. Les bilans relatifs aux forêts mûres des trois sites considérés révèlent une perte annuelle nette de calcium (tableau 1). Les anions mobiles des précipitations acides sont au banc des accusés (Federer *et al.*, 1989). Tandis que les anions traversent l'écosystème forestier, les ions hydrogène auxquels ils étaient conjugués dans les précipitations sont échangés contre d'autres cations comme le calcium, le potassium et le magnésium. Les ions hydrogène restent en arrière pour acidifier l'écosystème tandis que les cations sont lessivés dans les cours d'eau et les eaux d'écoulement. Les pertes nettes semblent faibles sur une base annuelle (tableau 1), mais prennent de l'importance lorsqu'on les extrapole sur de plus longues périodes, comme une révolution de 100 ans. Par exemple, les pertes nettes de calcium par lessivage au cours d'une telle révolution peuvent totaliser 800 à 1 500 kg par hectare. La légère hausse des pertes par lessivage qui interviennent immédiatement après la récolte conjuguée à la déperdition de jusqu'à 500 à 800 kg par hectare dans les produits récoltés (sur une révolution de 100 ans) signifie un épuisement total de 20 % à 40 % du capital calcium pour la révolution. Nos études nous révèlent que les apports additionnels provenant de la décomposition de la roche, de l'approfondissement de la zone racinaire et des dépôts secs ne sauraient remplacer cette perte de calcium (Federer *et al.*, 1989).

Protecting nutrient cycles

The above information on the calcium cycle supports concerns about nutrient depletion from forests. But further information is needed to fully define the magnitude of the problem. Most importantly, there is a need for estimates of weathering rates for soil materials in the greater than 2 mm size fraction. Such estimates may show that calcium from this tightly bound pool is made available at faster rates than have been predicted. If so, the nutrient depletion problem may not be as serious as portrayed. On the other hand, if the estimates are found to only match, or be less than the cursory calculations made by Federer *et al.* (1989), the problem will be real and will have to be dealt with, especially in situations such as the central hardwood forest in Connecticut. Until more is known, forest managers can take precautions to protect nutrient capitals and future site productivity. Most are obvious and can readily be included when planning and conducting harvests.

* Avoid whole-tree harvests on soil types and conditions with low fertility. Examples are coarse-textured sands and soils that are shallow to bedrock, or have high seasonal water tables. These soils have either inherently low total nutrient capitals or low quantities of plant-available nutrients due to slow rates of weathering and mineralization. Such conditions are not always easily recognized, but help is some-

Comment protéger les cycles des éléments nutritifs

Ces données sur le cycle du calcium confirment nos craintes sur l'épuisement des éléments nutritifs de nos forêts. Nous avons toutefois besoin d'autres données pour parfaitement saisir toute l'ampleur du problème. Mais surtout, nous devons estimer le taux d'altération des matériaux du sol dans les fractions granulométriques supérieures à 2mm. Cela nous apprendra peut-être que le calcium provenant de ce pool étroitement aggluti né est assimilable à des taux plus rapides que prévu. Si c'est le cas, il se peut que l'épuisement des éléments nutritifs ne soit pas aussi grave qu'on le pense. Si en revanche les estimations concordent avec les calculs superficiels de Federer *et al.* (1989) ou leur sont inférieures, le problème devient alors réel et il y a lieu de s'y attaquer, surtout dans le cas de la forêt de feuillus du centre du Connecticut. Tant qu'ils n'en sauront pas davantage sur le sujet, les aménagistes forestiers devront prendre toute les précautions voulues pour protéger les capitaux nutritifs et la productivité future des sites. La plupart de ces précautions se passent d'explications et sont faciles à prendre lorsqu'on planifie et qu'on procède aux récoltes.

* Il faut éviter l'exploitation par arbres entiers sur les sols peu fertiles. Citons par exemple les sables à la texture grossière, les sols peu profonds jusqu'au substratum rocheux ou les sols qui ont une nappe phréatique saisonnière élevée. Ces sols ont soit un capital d'éléments nutritifs total fondamentalement bas, soit de faibles quantités d'éléments nutritifs assimilables par les plantes en raison de la lenteur des taux d'altération et de

times available from maps and descriptions of forest soils.

* Plan harvests so that leaves remain on site. Harvesting in the dormant season and after leaf fall at our NH site reduced nutrient removals by 10% for Ca, 16% for K, and 21% for N and P, compared to a growing season harvest with leaves (Hornbeck and Kropelin 1982). During growing-season harvests, felling should be conducted several weeks in advance of skidding to allow leaves to dry and drop on site.

* Exercise special caution with logging operations. Whole-tree clearcutting has potential for added soil disturbance due to heavier loads, more round trips by forwarding equipment, and the use of new, unfamiliar machinery (Martin 1988). Compaction and exposure of mineral soils may prolong leaching losses by delaying regeneration and plant development. If the disturbances result in erosion and stream sedimentation, there will be nutrient losses beyond those already discussed, as well as degradation of streamwater quality. Guidelines for protecting soils during whole-tree harvesting are given in Martin (198) and Hornbeck *et al.* (1986).

minéralisation. Ces conditions ne sont pas toujours faciles à établir mais les cartes et les descriptions des sols forestiers sont parfois utiles.

* Il faut prévoir les récoltes de telle sorte que les feuilles demeurent sur place. Le fait de faire la récolte à la saison dormante et après la tombée des feuilles sur notre site du NH a permis de réduire les déperditions d'éléments nutritifs de 10 % pour le calcium, de 16 % pour le potassium et de 21 % pour l'azote et le phosphore par rapport à une récolte durant la saison de croissance alors que les arbres ont leurs feuilles (Hornbeck et Kropelin, 1982). Si l'on décide de faire la récolte durant la saison de croissance, l'abattage doit se faire plusieurs semaines avant le débardage pour permettre aux feuilles de sécher et de tomber sur le site.

* Il faut prendre des précautions spéciales avec les opérations d'exploitation. La coupe d'arbres entiers risque d'aggraver le dérangement du sol en raison des charges plus lourdes, du plus grand nombre de rotations des débusqueuses et de l'utilisation de nouvelles machines que l'on connaît mal (Martin, 1988). Le compactage et l'exposition des sols minéraux peuvent prolonger les pertes par lessivage en retardant la régénération et le développement des végétaux. Si ces dérangements entraînent une érosion et la sédimentation des cours d'eau, les déperditions d'éléments nutritifs risquent de dépasser celles dont on a déjà parlé, sans compter la dégradation de la qualité des eaux d'écoulement. Des consignes de protection des sols durant la récolte

* Consider alternative harvesting practices. Whole-tree harvesting is commonly practised on large, clearcut blocks. A possibility for moderating nutrient leaching losses is to apply a practice known as progressive strip cutting. The harvest site is still clearcut, but over a several year period, using a series of strips of uniform widths (usually about 25 m wide). In addition to providing for a seed source and favorable environment for regeneration, strip cutting has been showen to reduce nutrient leaching losses by 40 to 60% over block clearcutting (Hornbeck et al. 1987).

Literature cited

Bormann, R.E. 1982. Agricultural disturbance and recovery at Mt. Cilley. PhD. Thesis. Yale University. 244 pp.

Coolidge, P.T. 1963. History of the Maine Woods. Furbush-Roberst Printing Co. Bangor, Maine, USA. 805 pp.

Federer, C.A., Hornbeck, J.W., Tritton, L.M., Martin, C.W., Pierce, R.S., and Smith, C.T. 1989. Long-term depletion of calcium and other nutrients in eastern U.S. forests. Environmental Management 13: 593-602.

Hornbeck, J.W., and Kropelin, W. 1982. Nutrient removal and leaching from a whole-tree harvest of northern hardwoods. Journal of Environmental Quality 11: 309-316.

d'arbres entiers sont données dans Martin (1988) et Hornbeck *et al.* (1986).

* Il faut songer à d'autres méthodes d'exploitation. La récolte d'arbres entiers est d'usage courant sur les grandes étendues coupées à blanc. Pour limiter les pertes d'éléments nutritifs par lessivage, il faut adopter le mode de régénération par coupes rases en bandes contiguës. Le lieu d'exploitation est toujours coupé à blanc, mais sur plusieurs années, moyennant une série de bandes contiguës de largeur uniforme (généralement de 25 m). En plus de constituer une source de graines et de favoriser la régénération, la coupe par bandes réduit de 40 % à 60 % les pertes d'éléments nutritifs par lessivage par rapport à la coupe rase par bouquets (Hornbeck *et al.*, 1987).

Bibliographie

Bormann, R.E. 1982. Agricultural disturbance and recovery at Mt. Cilley. Thèse de doctorat, Université Yale, 244 pages.

Coolidge, P.T. 1963. History of the Maine Woods. Furbush-Roberts Printing Co. Bangor (Maine) États-Unis. 805 pages.

Federer, C.A., J.W. Hornbeck, L.M. Tritton, C.W. Martin, R.S. Pierce, and C.T. Smith. 1989. Long-term depletion of calcium and other nutrients in eastern U.S. forests. Environmental Management 13: 593-602.

Hornbeck, J.W. and W. Kropelin. 1982. Nutrient removal and leaching from a whole-tree harvest of northern hardwoods. Journal of Environmental Quality 11: 309-316.

Hornbeck, J.W., Martin, C.W., Pierce, R.S., Bormann, F.H., Likens, G.E., and Eaton, J.S. 1987. The northern hardwood forest ecosystem: ten years of recovery from clearcutting. USDA Forest Service Research Paper NE-RP-596, Radnor, PA, 30pp.

Hornbeck, J.W., Martin, C.W., and Smith, C.T. 1986. Protecting forest streams during whole-tree harvesting. North. J. Appl. For. 3: 97-100.

Likens, G.E., Bormann, F.H., Pierce, R.S., Eaton, J.S., and Johnson, N.M. 1977. Biogeochemistry of a forested ecosystem. Springer-Verlag, New York, 146 pp.

Martin, C.W. 1988. Soil disturbance by logging in New England - review and management recommendations. North. J. App. For. 5: 30-34.

Smith, C.T. Jr., McCormack, M.L. Jr., Hornbeck, J.W., and Martin, C.W. 1986. Nutrient and biomass removals from a red spruce-balsam fir whole-tree harvest. Can. J. For. Res. 16: 381-388.

Tritton, L.M., Martin, C.W., Hornbeck, J.W., and Pierce, R.S. 1987. Biomass and nutrient removals from commercial thinning and whole-tree clearcutting of central hardwoods. Environ. Mgmt. 11: 659-666.

Hornbeck, J.W., Martin, C.W. , Pierce, R.S., Bormann, F.H., Likens, G.E., and Eaton, J.S. 1987. The northern hardwood forest ecosystem: Ten years of recovery from clearcutting. Rapport de recherche de l'USDA Forest Service NE-RP-596, Radnor, PA, 30 pp.

Hornbeck, J.W., Martin, C.W., and Smith, C.T. 1986. Protecting forest streams during whole-tree harvesting. Northern Journal of Applied Forestry 3: 97-100.

Likens, G.E., Bormann, F.H., Pierce, R.S., Eaton, J.S., and Johnson, N.M. 1977. Biogeochemistry of a Forested Ecosystem. Springer-Verlag, New York, 146 pp.

Martin, C.W. 1988. Soil disturbance by logging in New England -- review and management recommendations. Northern Journal of Applied Forestry 5: 30-34.

Smith, C.T. Jr., McCormack, M.L. Jr., Hornbeck, J.W., and Martin, C.W. 1986. Nutrient and biomass removals from a red spruce-balsam fir whole-tree harvest. Canadian Journal of Forest Research 16: 381-388.

Tritton, L.M., Martin, C.W., Hornbeck, J.W., and Pierce, R.S. 1987. Biomass and nutrient removals from commercial thinning and whole-tree clearcutting of central hardwoods. Environmental Management 11: 659-666.

ESTABLISHMENT REPORT ON THE IMPACTS OF INTENSIVE HARVESTING ON SITE: A LYSIMETER STUDY

A project funded by ENFOR
Project Leader: M.K. Mahendrappa
Forestry Canada - Maritimes Region
1990

Acknowledgements

This project would not have got off the books without the funding from the national ENFOR program. Help of numerous people involved in preparing, presenting, and supporting the proposal to carry out a lysimeter study are equally important. The involvement and collaboration of J.D. Irving (Woodlands Division) has greatly facilitated the conduct of this study. At the study site, Mr. Lewis Stone and Mr. Larry Sweet's cooperation in getting the blocks harvested differently to suit the investigation has been invaluable. The dedicated hard work of Mr. D.G.O. Kingston in planning and executing different phases of the lysimeter study is the key factor responsible for the installation of the lysimeter at this investigation site.

Introduction

With the advent of industries and faster modes of transportation (aeroplanes and automobiles), human dependency on fossil fuel for energy has increased precariously. We in the western world are especially guilty. When the Middle-Eastern countries imposed an oil embargo during the early 1970s, such a vulnerable dependancy became quite obvious. Everyone began to seek alternative sources of energy. Canada, with more forest than any other country on earth, felt it

COMPTE RENDU DES INCIDENCES DE L'EXPLOITATION INTENSIVES SUR LES SITES : ÉTUDE LYSIMÉTRIQUE

Projet financé par ENFOR
Chef de projet - M.K Mahendrappa
Forêts Canada - Région des Maritimes
1990

Remerciements

Ce projet n'aurait jamais vu le jour sans l'appui financier du programme ENFOR. L'aide des nombreuses personnes qui ont aidé à préparer, à présenter et à épauler le projet de réalisation d'une étude lysimétrique est fort appréciée. La participation et la collaboration de J. D. Irving (division des boisés) ont grandement facilité la réalisation de l'étude. Sur place, il faut signaler le travail inestimable de MM. Lewis Stone et Larry Sweet qui se sont arrangés pour que les blocs soient exploités différemment pour répondre aux besoins de l'étude. Le dur labeur de M. D. G. O. Kingston qui a planifié et exécuté différentes phases de l'étude lysimétrique est l'élément décisif qui a contribué à l'installation du lysimètre sur le site de l'étude.

Introduction

Depuis l'avènement de l'industrie des transports qui offre des moyens de plus en plus rapides (avion et automobile), l'être humain dépend chaque jour un peu plus des combustibles fossiles pour ses besoins énergétiques. Les pays occidentaux en font une consommation nettement supérieure au reste du monde. Lorsque les pays du Moyen-Orient ont mis leur embargo sur le pétrole au début des années soixante-dix, la vulnérabilité de l'Occident est apparue de manière

necessary to look to the forest as an alternative and supplemental source of energy. In an efort to evaluate the possibility and extent of using forest biomass as a source of energy, research was conducted on various aspects of forest operations. One of the outcomes of such investigations was the justification of intensive harvesting methods. This justification was based on economical and mechanical efficiency in using large machines for harvesting forest biomass. Although the possible deleterious physical impacts of large machines on forest soils were known earlier and some corrective measures were implemented, no consideration was given to the possible chemical damage resulting from the removal of the biomass from sites.

criarde. Tout le monde s'employait à trouver de nouvelles sources d'énergie. Le Canada qui possède plus de forêts que tout autre pays au monde a estimé qu'il devait se tourner vers la forêt comme source d'énergie substitutive et complémentaire. Dans le but d'étudier la possibilité d'utiliser la biomasse forestière comme source d'énergie, on a entrepris un certain nombre de projets de recherche sur divers aspects des opérations forestières. L'une des résultantes de ces recherches a été la justification des méthodes d'exploitation intensive. Cette justification s'appuyait sur le rendement économique et mécanique des grosses machines employées pour récolter la biomasse forestière. Même si l'on connaissait déjà les effets délétères possibles des grosses machines sur les sols forestiers et qu'on avait déjà pris certaines mesures correctives à cet égard, on a complètement ignoré les dommages chimiques à même de résulter de l'élimination de la biomasse des forêts.

At present, in almost all the timber harvesting operations, removal of total biomass from sites is common in the Maritimes. Our soils are basically poor in fertility and are generally acidic. Removal of nutrient rich foliage and branches from the forest either for use or for burning along the roadsides is bound to deplete the nutrient reserves in our forest soils. Also, some results from Sweden, New Zealand, and the United States show that removal of all the biomass from sites can lead to site degradation through a build-up of acidity in the soil. Therefore, it was felt imperative that the consequences of intensive harvesting in the Maritimes be investigated.

À l'heure actuelle, dans pratiquement toutes les opérations de récolte de bois, l'élimination de la biomasse totale des sites est monnaie courante dans les Maritimes. Nos sols sont fondamentalement peu fertiles et généralement acides. L'enlèvement du feuillage et des branchages riches en éléments nutritifs soit pour en faire usage soit pour les brûler en bordure de route, risque d'épuiser les réserves d'éléments nutritifs que contiennent les sols de nos forêts. Par ailleurs, certaines constatations faites en Suède, en Nouvelle-Zélande et aux États-Unis indiquent que l'élimination de toute la biomasse d'un site peut provoquer une dégradation du site par l'acidification du sol. On a donc jugé qu'il était impérieux d'évaluer les conséquences de

Figure 1

Objectives

To compare and evaluate the possible changes in the soil nutrient dynamics as affected by different harvesting methods. Specifically, the objective of the lysimeter study at the Deersdale site is to chemically characterize the soil leachates from unharvested (control), conventionally harvested (CH) and whole-tree harvested (WT) blocks of land. The results should give us a good indication of whether or not our soils and the trees that are commercially important to the region might be affected by intensive harvesting, as suggested by results found in other countries. In compliance with the requests of foresters from J.D. Irving Ltd., plans are underway to expand this study to include some additional harvesting methods as treatments.

Objectifs

Ce projet a pour but de comparer et d'évaluer les changements qui peuvent se produire dans la dynamique des éléments du sol en fonction de différentes méthodes d'exploitation. L'objectif spécifique de l'étude lysimétrique de Deersdale est de caractériser chimiquement les produits de lessivage du sol prélevés dans des blocs de terre non exploités (témoin), exploités selon des méthodes classiques (EMC) et exploités par arbres entiers (EAE). Les résultats devraient nous apprendre si nos sols et les arbres qui revêtent une importance commerciale pour la région peuvent être affectés par une exploitation intensive comme le donnent à penser les résultats obtenus dans d'autres pays. Conformément aux requêtes des aménagistes forestiers de la compagnie J. D. Irving Limited, on envisage déjà

l'exploitation intensive dans les Maritimes.

Evaluation of changes in growth response of trees to different methods of harvesting (different degrees of biomass removal from sites) involves research work of long duration. Results specific to our sites and species are needed now if we are to convince the foresters to alter our harvesting methods. This is confirmed by evidence from other countries and continents indicating a potential for site degradation due to soil acidification. Characterizing various soil chemical properties which ultimately affect tree growth and development seems to be a shortcut alternative for evaluating the magnitude and direction of site degradation.

Pour évaluer les changements qui se produisent dans la croissance des arbres en réaction à différentes méthodes d'exploitation (différents niveaux d'élimination de la biomasse des sites), il faut entreprendre des recherches de longue durée. Nous avons besoin dès aujourd'hui de résultats propres à nos sites et à nos espèces si nous voulons convaincre les aménagistes forestiers de modifier leurs méthodes d'exploitation. Cela est d'autant plus vrai que les preuves en provenance d'autres pays et continents révèlent un sérieux potentiel de dégradation des sites dû à l'acidification des sols. L'idée de caractériser les diverses propriétés chimiques du sol qui affectent en fin de compte la croissance et le développement des arbres semble être un raccourci valable pour évaluer l'ampleur et l'orientation de la dégradation des sites.

In the investigation initiated in 1989 at a Deersdale (J.D. Irving freehold) site, lysimeters are being used to collect soil solution samples. The soil solution samples (leachates) are like the blood samples for humans. They represent the dynamic chemistry within the soil matrix. Analyzing them should enable us to interpret the possible changes occuring in the soil. If intensive harvesting results in any drastic changes in the soil chemistry, we should be able to detect them through the analyses of the leachates.

Dans le cadre de l'étude entreprise en 1989 à Deersdale (propriété foncière libre de J. D. Irving), on s'est servi de lysimètres pour prélever des échantillons de solution du sol. Ces échantillons (produits de lessivage) sont comme les prélèvements de sang chez l'être humain. Ils représentent la chimie dynamique de la matrice du sol. Leur analyse devrait nous permettre d'interpréter les changements à même de se produire dans le sol. Si l'exploitation intensive provoque des changements draconiens dans la chimie du sol, nous devrions être en mesure de les déceler en analysant les produits de lessivage.

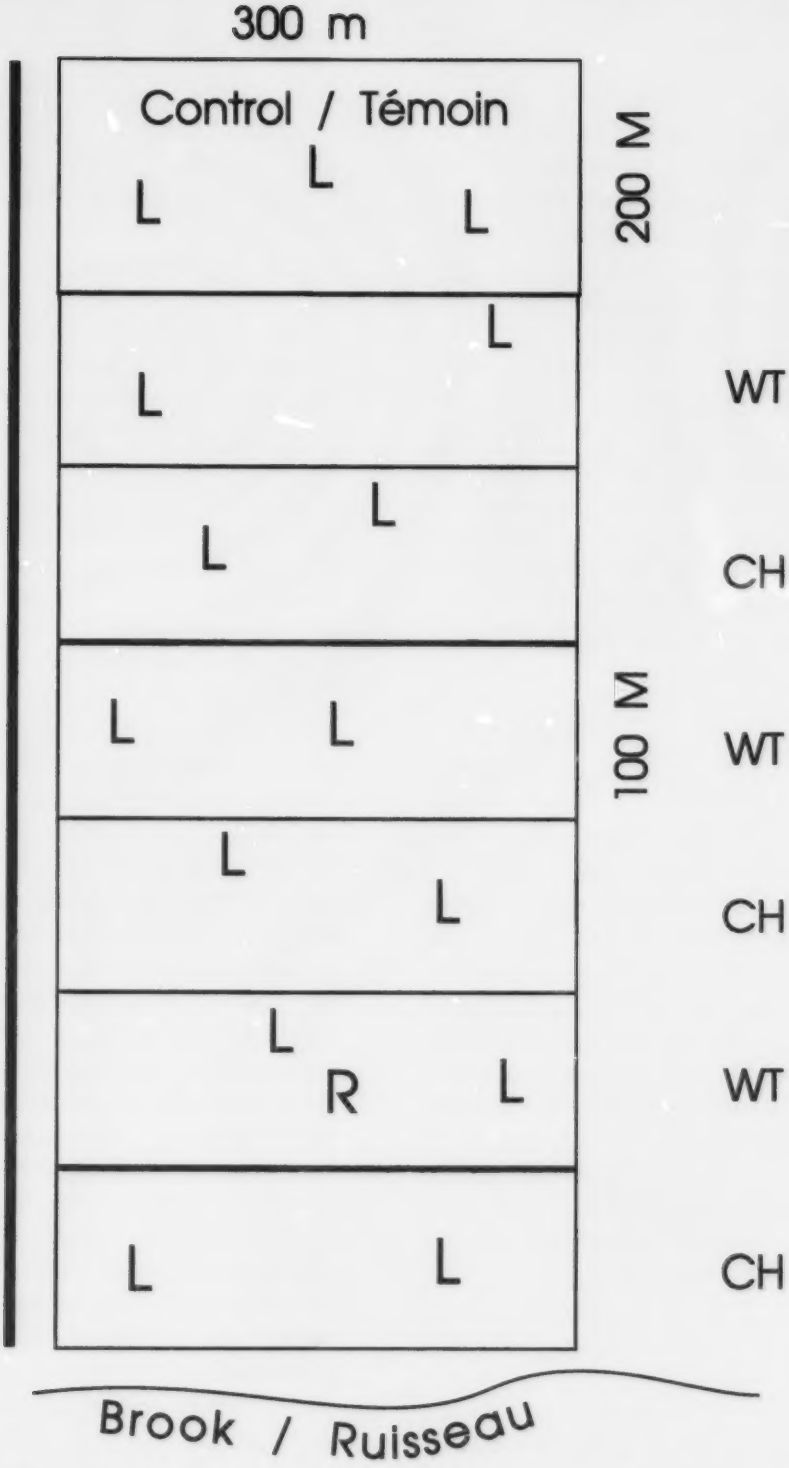

300 m
Control / Témoin
200 M
100 M
WT
CH
WT
CH
WT
CH
Brook / Ruisseau

Figure 2

Table 1. Estimates of total and merchantable volume of species harvest from the lysimeter study site

Tableau 1. Estimation du volume total et commercialisable des espèces abbattues sur le lieu de l'étude lysimétrique.

Species/Espèces	Volume (m^3/ha)*	
	Total	Merchantable/ Commercialisable
Balsam fir/Sapin baumier	105	95
Spruces/Épinettes	19	18
Total softwood/Total résineux	124	113
Maple/Érable	50	43
White birch/Bouleau blanc	34	29
Yellow birch/Bouleau jaune	8	7
Total hardwood/Total feuillus	92	79
Total on site/Total sur le site	216	192

* Based on 20 temporary sampling plots (0.01 ha) set up at random within the control block./
* Basé sur 20 parcelles d'échantillonnage temporaires (0,01 ha) délimitées au hasard dans le bloc témoin

The lysimeter study was initiated in the summer of 1989. As yet, no results are available. It will be at least two more years before we can obtain results that can be interpreted with any confidence. In this report, therefore, the description of the study area, in terms of soil and stand characteristics, is included without any discussion.

d'étendre la portée de cette étude et d'y englober certaines autres méthodes d'exploitation.

L'étude lysimétrique a débuté dans le courant de l'été 1989. On ne dispose encore d'aucun résultat. Il faudra attendre au moins deux ans avant d'obtenir des données que nous pourrons interpréter sans risque de nous tromper. Dans ce rapport donc, les descriptions de la zone considérée sous le rapport des caractéristiques du sol et des peuplements sont données sans aucune analyse.

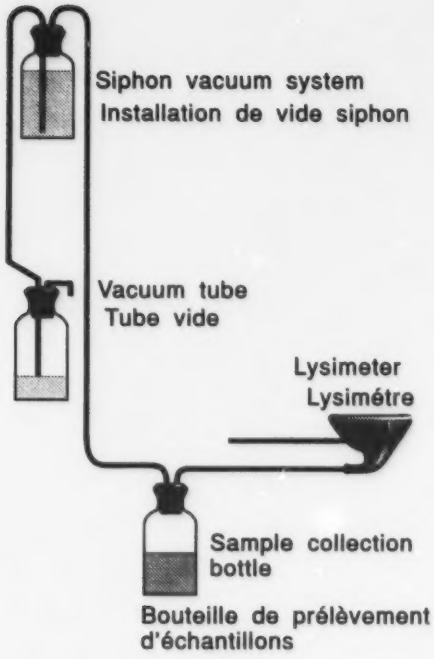


Figure 3
Experimental set-up

The lysimeter study area is located at a distance of about 35 km north of the Deersdale sawmill on Highway 107 (see map in Figure 1). It is within freehold land owned by J.D. Irving Ltd. (Woodlands Division). The study site is located at latitude 46°45'45" north and longitude 66°55'57" west. The area is 340 m above mean sea level. The average annual precipitation in this area is 1000 mm, with equal amounts of snow and rain.

The experimental layout is shown in Figure 2. Block 1 was used as a control. The treatments for the six blocks harvested were randomly selected. Each treatment block is 100 m wide and 300 m long. For the control block, however, an additional

Montage expérimental

La région de l'étude lysimétrique est située à environ 35 km au nord de la scierie de Deersdale sur la route 107 (voir carte à la figure 1). Celle-ci se trouve dans la propriété foncière libre de J. D. Irving Ltd. (division des boisés). Sur le plan géographique, le lieu de l'étude est à 46°45'45" de latitude nord et à 66°55'57" de longitude ouest. L'altitude est de 340m au-dessus du niveau de la mer. La moyenne des précipitations annuelles dans la région est de 1 000mm, celles-ci se composant à parts égales de neige et de pluie.

Le montage expérimental est indiqué à la figure 2. Le bloc numéro un a servi de bloc témoin. Les méthodes opérationnelles des six blocs exploités ont été sélectionnées au hasard. Chaque bloc opérationnel a 100m de large sur 300m

100 m wide strip was delineated to avoid windthrow of trees in the event that the adjoining land was harvested. A 10 cm x 10 cm cedar post was installed at the corners of each block and at the midpoints of longitudinal lines joining the corner points.

The harvesting was carried out in stages by J.D. Irving Ltd. First, the softwoods were removed from each block using the respective harvesting methods. The operation was carried out using feller buncher operation. In the whole-tree harvested blocks, the trees were delimbed at the roadside, while for the conventionally harvested blocks, the delimbing was done *in situ*.

Lysimeter installation: First, a few words about lysimeters are warranted. A lysimeter (lysi + meter) implies that it is a measure of decomposition products. Ideally, the term denotes or implies decomposition of biochemicals. Lately (during the 18th and 19th centuries), earth scientists have had a monopoly in the use of lysimeters. As a result, the term has an inherent suggestion that it applies only to soils. Thus, the most recent definition of a lysimeter (as described in the unabridged Webster's dictionary) is as follows: "A lysimeter is a device for measuring the percolation of water through soils and determining the soluble constituents removed in the drainage." Lysimeters of enormously varying sizes and shapes have been used. The biggest, in terms of weight, is known to exceed 20 metric tons. In Saint Dumas, California, there is a lysimeter installation encompassing an area of several hectares. It was installed in 1934 at an expense of $1 million (US).

de long. En ce qui concerne le bloc témoin toutefois, une bande additionnelle de 100m de large a été délimitée pour éviter que les arbres ne soient déracinés par le vent au cas où l'on se mettrait à exploiter le fonds de terre attenant. Des poteaux de cèdre de 10cm X 10cm ont été plantés à l'angle de chaque bloc et à mi-chemin des lignes longitudinales reliant les différents angles.

L'exploitation a été faite par étapes par la Société Irving. On a commencé par enlever les résineux de chaque bloc au moyen des méthodes d'exploitation respectives. On a utilisé pour ce faire des abatteuses-empileuses. Dans les blocs exploités par arbres entiers, les arbres ont été ébranchés en bordure de route alors que dans le cas de l'exploitation classique, l'ébranchage s'est fait sur place.

Installation des lysimètres : En premier lieu, il convient de dire quelques mots sur les lysimètres. Un lysimètre (lysi + mètre) indique qu'il s'agit d'une mesure des produits de dissolution. Idéalement parlant, le terme désigne ou implique la dissolution de substances biochimiques. Au XVIII^{e} et au XIX^{e} siècle, l'usage des lysimètres était l'apanage des spécialistes des sciences de la terre. Il s'ensuit naturellement qu'on est porté à croire que l'usage de l'appareil est limité aux sols. C'est pourquoi la plus récente définition d'un lysimètre que l'on trouve dans le Quillet dit : "Un lysimètre est un appareil qui sert à l'évaluation de la perméabilité à l'eau pluviale d'un sol donné, dans telles conditions de climat, de saison, de pente, etc." Les lysimètres qui existent sont de tailles et de formes étonnamment variables. Le lysimètre le plus pesant que l'on connaisse dépasse 20 tonnes métriques. À Saint Dumas (Californie), il existe un lysimètre qui

One of the main conclusions of the study at that site is that pine trees have acidified the soil, while oak trees have not (the difference in pH between the sites occupied by pines and oaks is half a unit). Very small lysimeters have been in use since the late 1960s. However, the latest version of the lysimeter, used for the present study, is unique in many respects.

A sketch of lysimeters used for collecting soil leachate at the Deersdale site is presented in Figure 3. The mechanics of creating a continuous vacuum using the system in Figure 3 is described in detail by Riekerk and Morris (1983). These lysimeters were installed within the soil profiles by digging holes into the sides of the soil pits.

In the control block, three soil pits were dug for installing lysimeters. In each of the other six blocks, two soil pits were excavated. Lysimeters were installed on two of the four faces of soil profile. On each face, three lysimeters at three depths were installed. Thus, six lysimeters were installed in each soil pit. They were located at (a) the interphase between the organic (duff) and mineral horizons; (b) the lower end of the rooting depth, and (c) the midpoint between the locations of (a) and (b). They were arranged in a step-like manner, so that the collection of leachates from the upper lysimeter did not influence the leachate entering the lower lysimeter. Fiberglass tubs 122 cm x 122 cm x 91 cm (4' x 4' x 3') in size were lowered into the soil pits and backfilled to prevent displacement of the lysimeters and possible cave-in of the soil. As shown

embrasse une région de plusieurs hectares. Il a été installé en 1934 au prix de 1 million de dollars (US). L'une des principales conclusions de l'étude réalisée sur ce site est que les pins ont acidifié le sol, mais pas les chênes (la différence de pH entre les sites occupés par les pins et les chênes est d'une demi-unité). On utilise de tout petits lysimètres depuis la fin des années soixante. Mais la dernière version du lysimètre employé dans le cadre de la présente étude est exceptionnelle à de nombreux égards.

Un croquis des lysimètres qui servent à recueillir les produits de lessivage du sol à Deersdale est présenté à la figure 3. Le mécanisme qui permet de créer un vide continu au moyen du système représenté à la figure 3 est décrit en détail par Riekerk et Morris (1983). Ces lysimètres ont été installés dans le profil pédologique en creusant des trous dans les flancs des fosses pédologiques.

Dans le bloc témoin, trois fosses pédologiques ont été creusées pour l'installation des lysimètres. Dans chacun des six autres blocs, on a creusé deux fosses pédologiques. Les lysimètres ont été installés sur deux des quatre faces du profil pédologique. Sur chaque face, trois lysimètres ont été placés à trois profondeurs. Ainsi, six lysimètres ont été installés dans chaque fosse pédologique. Ils ont été placés à (a) l'interface entre l'horizon organique (matte) et l'horizon minéral; (b) à l'extrémité inférieure de la profondeur d'enracinement, et (c) à mi-chemin entre (a) et (b). Ils ont été disposés en escaliers afin que les produits de lessivage collectés par le lysimètre supérieur n'affectent pas les produits de lessivage pénétrant dans le lysimètre inférieur. Des cuves en fibre de verre de 122cm X 122cm X 91cm

Table 2. Biomass estimates (kg/ha) for the different tree species on lysimeter study site (based on the data from 20 temporary sample plots; 1989)

Tableau 2. Estimations de la biomasse (kg/ha) des différentes espèces d'arbres sur le site de l'étude lysimétrique (d'après les données relatives aux 20 parcelles d'échantillonnage temporaires; 1989)

Component/ Constituant	Species/Espèces						
	B Fir/ Sapin b	B Spruce/ Épinette n	W Spruce/ Épinette b	S Maple/ Érable às	W Birch/ Bouleau b	Y Birch/ Bouleau j	Total
Stem/Tige	42321	8433	341	31505	19738	5049	107387
Stemwood/Bois de fût	35841	7568	301	27984	16970	4335	92999
Stembark/Écorce de tronc	6479	864	40	3520	2768	713	14384
Branches/Branches	10562	1911	72	7125	6024	1421	27115
Foliage/Feuillage	6469	919	46	929	802	187	9352
Stmpwood/Bois de souche	943	175	9	692	567	133	2519
Stmpbark/Écorce de souche	161	18	1	70	90	21	361
Mwood/BoisM	32272	7163	271	24319	14750	3769	82544
Mbark/ÉcorceM	5869	812	36	3046	2407	620	12790
Mtotal/TotalM	38141	7975	307	27365	17157	438	95334
Conewood/Bois de cône	2627	230	21	2973	1653	433	7937
Conebark/Écorce de cône	449	34	3	404	271	72	1233
Cone/Cône	3076	264	24	3377	1924	505	9170
Mbranch/BranchesM	10469	1890	72	7003	6013	1421	26868
Mfoliage/FeuillageM	6395	904	46	894	799	187	9225
Mstem/TigeM	42194	8391	341	31185	19714	5049	106874
Tbiom/BiomT	59351	11263	458	39559	26565	6657	143853
Tmbiom/BiomMT	57961	10995	448	38334	25871	6502	140111
Additional Removals(WTH)/ Autres Éliminations (EAE)	15767	2604	107	7149	6157	1453	33237
Percent/Pourcentage	37%	31%	31%	23%	31%	29%	

Overall Softwoods/Ensemble résineux = 36% Hardwoods/feuillus = 26% Total = 31%

in Figure 2, a rain gauge (10-cm diameter) was mounted on a 1-m tall cedar stake. The rain samples are analyzed to estimate the atmospheric input of nutrients to the site. The rain data are essential for calculating the kilogram quantities of nutrients leached past different depths from the concentrations.

(4' X 4' X 3') ont été abaissées dans les fosses pédologiques et remblayées pour prévenir le déplacement des lysimètres et l'éventuel effondrement du sol. Comme l'indique la figure 2, un pluviomètre (de 10cm de diamètre) a été installé sur un pieu de cèdre de 1 m de hauteur. L'analyse des échantillons de pluie sert à évaluer l'apport atmosphérique d'éléments nutritifs dans le site. Les données pluviométriques servent à calculer à partir des concentrations obtenues les quantités d'éléments nutritifs lessivées à différentes profondeurs en kilogrammes.

Table 3. Estimates of different nutrients (kg/ha) in biomass in different trees on the lysimeter study site (based on the data from 20 temporary sample plots; 1989)

Tableau 3. Estimation des différents éléments nutritifs (kg/ha) dans la biomasse des différents arbres poussant sur le site de l'étude lysimètrique (d'après les données relatives aux 20 parcelles d'échantillonnage temporaires; 1989)

Element/Élément	Species/Espèce						
	W Spruce/ Épinette b	W Birch/ Bouleau b	Y Birch/ Bouleau j	B Fir/ Sapin b	Maple/ Érable	B Spruce/ Épinette n	Total
Nitrogen/Azote	1.10	52.26	12.75	159.00	72.37	25.57	323.05
Phosphorus/Phosphore	0.12	4.60	1.12	15.22	5.67	1.63	28.36
Potassium	0.53	24.41	5.96	121.24	44.49	9.13	205.76
Calcium	0.81	50.46	12.54	154.49	87.04	25.38	330.70
Magnesium/Magnésium	0.11	10.97	2.73	22.43	15.05	4.02	55.31
Sulfur/Soufre	0.05	1.71	0.42	9.57	3.87	1.13	16.75
Manganese/Manganèse	0.02	1.00	0.25	3.45	1.56	0.59	6.87
Iron/Fer	0.00	0.16	0.03	0.52	0.19	0.05	0.95
Sodium	0.20	0.96	0.24	3.08	1.54	0.52	6.54
Boron/Bore	0.00	0.20	0.05	0.58	0.32	0.08	1.23
Copper/Cuivre	0.00	0.09	0.03	0.25	0.17	0.03	0.57
Aluminum/Aluminium	0.02	0.30	0.07	4.34	0.36	0.20	5.29
Zinc	0.00	1.20	0.29	0.88	0.26	0.14	2.77
Lead/Plomb	0.00	0.08	0.02	0.01	0.01	0.00	0.12
Ash/Cendres	3.65	191.62	47.35	681.06	335.94	95.07	1354.69

Stand and soil characteristics

Stand description: The major composition of the stand consisted of fir and spruce. Other species included maple and white and yellow birch. To estimate the volumes (total and merchantable) and biomass of each of the tree species, the unharvested area (control block) was used. In the control block, 20 plots, each with 0.01 ha area, were set up at random. The trees in each plot were characterized using the standard mensurational methods. A height diameter curve developed using the data from three additional (permanent) plots was used for calculating the volumes of trees on site. The equations developed by Ker (1984) for the New Brunswick forests, the biomass of foliage, branches, stemwood, stembark, etc. of

Caractéristiques du peuplement et du sol

Description du peuplement : Le peuplement se compose essentiellement de sapins et d'épinettes. Parmi les autres espèces présentes, mentionnons des érables, des bouleaux blancs et des bouleaux jaunes. On s'est servi de la zone non exploitée (bloc témoin) pour évaluer le volume (total et commercialisable) et la biomasse de chacune des espèces d'arbres. Dans le bloc témoin, 20 parcelles d'une superficie de 0,01 hectare ont été tracées au hasard. Les arbres de chaque parcelle ont été caractérisés à l'aide des méthodes dendrométriques standards. Une courbe hauteur-diamètre tracée au moyen des données provenant de trois autres parcelles (permanentes) a servi à calculer le volume des arbres sur

Table 4. Estimates of different nutrients (kiloeq/ha) in biomass of different trees on the study site (based on data from 20 temporary sample plots; 1989)

Tableau 4. Estimation des différents éléments nutritifs (kiloeq/ha) dans la biomasse des différents arbres poussant sur le site de l'étude (d'après les données relatives aux 20 parcelles d'échantillonnage temporaires; 1989)

E'sment/Élément	Species/Espèce						
	W Spruce/ Épinette b	W Birch/ Bouleau b	Y Birch/ Bouleau j	B Fir/ Sapin b	Maple/ Érable	B Spruce/ Épinette n	Total
Nitrogen/Azote	0.0785	3.7280	0.9094	11.341	5.162	1.824	23.04
Phosphorus/Phosphore	0.0039	0.1480	0.0361	0.491	0.183	0.053	0.91
Potassium	0.0136	0.6260	0.1528	3.109	1.141	0.234	5.28
Calcium	0.0404	2.5180	0.6257	7.709	4.343	1.267	16.50
Magnesium/Magnésium	0.0092	0.9140	0.2275	1.869	1.254	0.335	4.61
Sulfur/Soufre	0.0016	0.0530	0.0131	0.299	0.121	0.035	0.52
Manganese/Manganèse	0.0007	0.0360	0.0091	0.125	0.057	0.022	0.25
Iron/Fer	0.0000	0.0090	0.0016	0.028	0.010	0.003	0.05
Sodium	0.0087	0.0420	0.0104	0.134	0.067	0.003	0.28
Boron/Bore	0.0000	0.0190	0.0046	0.054	0.030	0.007	0.11
Copper/Cuivre	0.0000	0.0030	0.0009	0.008	0.094	0.001	0.02
Aluminum/Aluminium	0.0022	0.0330	0.0078	0.482	0.040	0.022	0.59
Zinc	0.0000	0.0370	0.0089	0.027	0.008	0.004	0.08
Lead/Plomb	0.0000	0.0010	0.0002	0.000	0.000	0.000	0.00
Ash (kg)/Cendres (kg)	3.65	191.62	47.35	681.06	335.94	95.07	1355.00

different species were computed. These data are presented in Table 2. Based on various mensurational data from the study area, it was considered as a medium productivity site (volume growth of between 3 to 6 m^3/ha/year). Therefore, the nutrient concentrations measured in the tree components collected from trees growing on medium sites throughout New Brunswick were used for calculating the quantities of nutrients in the aboveground portions of the trees in the lysimeter study site. The kilogram quantities of different nutrients in the trees are presented in Table 3. These values are also expressed in kiloequivalent units in Table 4. This conversion is necessary to standardize the comparison of different nutrient removals with one another and with hydrogen ion deposited in rain.

le site. Les valeurs obtenues sont présentées au tableau 1. À l'aide des équations formulées par Ker (1984) pour le Service des forêts du Nouveau-Brunswick, on a calculé la biomasse du feuillage, des branches, du bois de fût, de l'écorce du tronc, etc. des différentes espèces. Ces données figurent au tableau 2. D'après les diverses données dendrométriques de la zone considérée, on a jugé qu'il s'agissait d'un site à productivité moyenne (accroissement du volume ligneux oscillant entre 3 et 6m^3 par hectare par an). C'est pourquoi on s'est servi des concentrations d'éléments nutritifs mesurées dans les constituants prélevés sur des arbres poussant sur des sites à productivité moyenne de tout le Nouveau-Brunswick pour calculer les quantités d'éléments nutritifs dans les portions aériennes des arbres poussant

Soil characteristics:

Three soil profiles were described at the Deersdale study area during the summer of 1989 by a soil surveyor (Mr. Sharif Fahmy) from Agriculture Canada in Fredericton.

According to the soil survey report (Langmaid *et al.* 1976) for northern and central New Brunswick, the study area north of Deersdale, N.B. is mapped as belonging to the JUNIPER or McGEE soil series. However, according to the three soil profile descriptions, the soils in the study area appear to have the characteristics of the GLASSVILLE series and they also closely resemble the McGEE series.

Generalized descriptions of the GLASSVILLE and McGEE catenas are as follows:

Glassville Catena:

The soils of the Glassville Catena occur in two large districts. One is in a series of hills east of the Stewart Highway (Route 17) and the other is in a ridge of hills along the Tobique River. The catena is associated on its eastern boundary with the Serpentine and Juniper catenas, and on the north and western boundaries with the Boston Brook and Thibault catenas, and

sur le site de l'étude lysimétrique. Les quantités en kilogrammes des différents éléments nutritifs présents dans les arbres figurent au tableau 3. Ces valeurs sont également exprimées en unités kilo-équivalentes au tableau 4. Cette conversion est nécessaire pour normaliser la comparaison entre les différents éléments nutritifs éliminés et avec les ions hydrogène déposés dans les pluies.

Caractéristiques du sol :

Trois profils pédologiques ont été décrits à Deersdale durant l'été 1989 par un prospecteur pédologique (M. Sharif Fahmy) d'Agriculture Canada, à Fredericton.

Selon l'étude pédologique (Langmaid *et al.*, 1976) relative au nord et au centre du Nouveau-Brunswick, le site considéré, au nord de Deersdale (N.-B.), est censé appartenir à la série de sols JUNIPER ou McGEE. Toutefois, selon les trois descriptions des profils pédologiques, les sols de la région considérée semblent posséder les caractéristiques de la série GLASSVILLE et ils ressemblent également de près à la série McGEE.

On trouvera ci-après une description générale des chaînes GLASSVILLE et MCGEE :

Chaîne Glassville :

Les sols de la chaîne Glassville recouvrent deux grands districts. Le premier est une série de collines à l'est de la route Stewart (route 17) et le deuxième, une chaîne de collines le long de la rivière Tobique. La chaîne est associée sur son flanc est aux chaînes Serpentine et Juniper et sur ses flancs nord et ouest aux chaînes Boston Brook et Thibault, et dans

in both areas with the McGee catena. The members of the Glassville catena are the well-drained Glassville soils and the imperfectly to poorly and very poorly drained Temiscouata and Foreston soils.

The mode origin of the parent material varies from *in situ* weathering to colluvial and ablational materials. The sources of this material are metamorphosed slates and quartzitic sandstones of Ordovician, Devonian, and Silurian ages. The topography is generally strongly rolling to hilly because of the resistance of the bedrock to weathering. These soils are very channery and often very stony. The stones tend to be long, flat and very hard.

Glassville Series 45,000 ha (112,600 acres)

The Glassville soils cover 45,000 ha (112,600 acres) or 13% of the total area; 680 ha (1,682 acres) of this fall into the sandy variant of the series. These soils generally occupy the well-drained upper slopes of the hills and are frequently closely associated with the McGee soils. On the upper slopes, the vegetation consists of yellow birch, sugar maple, beech, white birch, red maple, striped maple, mountain maple, red spruce, balsam fir, bunchberry, common wood sorrel, goldthread, sarsaparilla, spinulose wood fern, raspberry, haircap moss, plume moss, hobblebush, and running club moss. The vegetation on the lower slopes consists of red spruce, balsam fir, white cedar, yellow birch, white birch, striped maple, mountain maple, honeysuckle, bunchberry, spinulose wood fern, ground pine, and common wood sorrel. The Glassville soils are classified as Orthic Ferro-Humic Poszols. A description of a typical virgin profile follows:

les deux régions à la chaîne McGee. Les membres de la chaîne Glassville sont les sols Glassville bien drainés et les sols Temiscouata et Foreston assez mal à mal à très mal drainés.

La roche-mère a pu se développer par altération des colluvions et des matériaux d'ablation. Ces matériaux proviennent de schistes métamorphosés et de grès quartzites de l'ordovicien, du dévonien et du silurien. La topographie est généralement assez fortement accidentée en raison de la résistance du substratum rocheux à l'altération. Ces sols sont en plaquettes et souvent très pierreux. Les pierres sont généralement longues, plates et très dures.

Série de sols Glassville, 45 000 hectares (112 600 acres)

Les sols Glassville recouvrent 45 000 hectares (112 600 acres), soit 13 % de la superficie totale; 680 hectares (1 682 acres) tombent dans la variante sableuse de cette série. Ces sols occupent généralement les pentes supérieures bien drainées des collines et sont fréquemment très proches des sols McGee. Sur les pentes supérieures, la végétation se compose de bouleaux jaunes, d'érables à sucre, de hêtres, de bouleaux blancs, d'érables rouges, d'érables de Pennsylvanie, d'érables nains, d'épinettes rouges, de sapins baumiers, de cornouillers du Canada, d'oxalide de montagne, de coptides du Groënland, de salsepareille, de dryoptéride spinuleuse, de framboisiers, de poils de siffleux, d'hypnes cimiers, de bois d'orignal et de courants verts. Sur les pentes inférieures, la végétation se compose d'épinettes rouges, de sapins baumiers, de cèdres blancs, de bouleaux jaunes, de bouleaux blancs, d'érables de

Variations. A sandy variant occurs that has developed on a coarse-textured material. The Bhf and Bfh usually contain more silt than the parent materials. The depth of the L, F, and H horizons varies from 2.5 to 7.5 cm (1 to 3 inches). The Ae horizon varies from 2.5 to 13 cm (1 to 5 inches) in depth and may be very wavy. The dark colored Bhf horizon is generally present at altitudes above 350 m (1,200 feet). The dark reddish brown color of the B horizon ranges from 5YR 3/2 to 2.5YR 2/4. The color of the C horizon varies from a pale yellow (2.5Y 7.4) to an olive (5Y 3/4). The drainage varies from excessive, on the upper slopes where it is shallow over bedrock, to moderately well-drained part way down the slopes where seepage occurs. The soils are usually very stony and have a large percentage of slaty gravel and channers. Where these soils are cleared and cultivated, the L-H, Ae, and at least part of the Bhf horizons are mixed to form a slaty loam.

Use. Some of these soils have been cleared and used for agriculture in the past; however, much of this land has since been abandoned and has reverted to forest. The soils are usually too stony and channery to clear and use for inter-

Pennsylvanie, d'érables de montagne, de chèvrefeuille, de cornouillers du Canada, de dryoptéride spinuleuse, de courants verts et d'oxalide de montagne. Les sols Glassville appartiennent à la classification des podzols orthiques ferro-humiques. Voici la description d'un profil vierge caractéristique :

Variations. On peut se trouver en présence d'une variante sableuse qui s'est développée sur des matériaux à la texture grossière. Les horizons Bhf et Bfh contiennent généralement plus de limon que les matériaux de la roche-mère. La profondeur des horizons L, F et H varie de 2,5 à 7,5 cm (1 à 3 pouces). Celle de l'horizon Ae varie de 2,5 à 13 cm (1 à 5 pouces) et cet horizon peut être très irrégulier. L'horizon Bhf de couleur sombre est généralement présent aux altitudes supérieures à 350 m (1 200 pieds). La couleur brune rougeâtre foncée de l'horizon B oscille entre 5YR 3/2 et 2,5YR 2/4. La couleur de l'horizon C peut aller d'un jaune pâle (2,5Y 7,4) à un ton olive (5Y 3/4). Le drainage varie d'excessif sur les pentes supérieures où l'horizon est peu profond au-dessus du substratum rocheux à modérément bon à mesure qu'on descend, en raison des infiltrations. Les sols sont généralement très pierreux et contiennent une forte proportion de gravier schisteux et de plaquettes. Là où ces sols ont été dégagés et cultivés, les horizons L, H, Ae et au moins une partie de l'horizon Bhf sont mélangés pour former un limon schisteux.

Utilisation. Certains de ces sols ont été dégagés et cultivés par le passé; toutefois, une bonne partie de ces terres ont depuis été abandonnées et sont retournées à l'état de forêt. Les sols sont généralement trop pierreux et plaquet-

tilled crops. They respond well to fertilizer and good crops of hay and grain have been grown on them. They are best left under forest and only cleared under exceptional circumstances. Approximately 7% of the soils could be considered arable, 21% are marginal, and the remaining 72% are nonarable. The limiting factors are stoniness, topography, and shallowness to bedrock. The available water and the water holding capacity are low on these soils.

taires pour être dégagés et servir aux cultures intercalées. Ils réagissent bien à l'épandage d'engrais et l'on y a fait pousser de bonnes cultures de foin et de céréales. Ils donnent leur meilleur sous la forêt et ne sont dégagés que dans des conditions exceptionnelles. Environ 7 % des sols peuvent être considérés comme arables, 21 % comme marginaux et le reste, soit 72 %, comme incultivables. Les facteurs limitatifs sont l'abondance de fragments pierreux, la topographie et la faible profondeur jusqu'au substratum rocheux. L'eau disponible et la capacité de rétention de l'eau sont faibles sur ces sols.

The McGee Catena

The McGee catena is found in two areas, one in a ridge of hills east of the Stewart Highway and the second in a ridge of hills along the Tobique River. It is associated with the Glassville soils. The Catena is formed on colluvial or reworked till material. The parent material is derived mainly from metamorphosed gray slates, argillites, and quartzites. The texture is highly variable within a profile and between profiles because of the mixing action of the method of deposition. The topography is strongly rolling to hilly. The catena is frequently very stony and ledgy.

La chaîne McGee

La chaîne McGee se trouve dans deux régions, l'une dans une chaîne de collines à l'est de la route Stewart et la deuxième dans une chaîne de collines le long de la rivière Tobique. Elle est associée aux sols Glassville. La chaîne recouvre des colluvions ou des moraines dérangées. La roche-mère provient essentiellement de schistes gris métamorphosés, d'argilites et de quartzites. La texture varie beaucoup dans un même profil et entre deux profils en raison du malaxage provoqué par les dépôts. La topographie est fortement ondulée à accidentée. La chaîne est fréquemment très pierreuse et en saillie.

McGee Series 18,000 ha (45,210 acres)

The McGee soils are the well- to rapidly drained members of the McGee catena. They usually occur on the sides of the hills and extend into the valley bottoms. The vegetation consists of white birch, yellow birch, sugar maple, red and white spruce, balsam fir, trembling aspen, common

Série McGee, 18 000 hectares (45 210 acres)

Les sols McGee sont les membres bien et rapidement drainés de la chaîne McGee. Ils sont généralement présents sur les flancs des collines et descendent jusque dans le creux des vallées. La végétation se compose de bouleaux blancs, de bouleaux jaunes, d'érables à

wood sorrel, haircap moss, hobblebush, bunchberry, and spinulose wood fern. These soils are classified as Orthic Ferro-Humic Podzols. A description of a well-drained profile follows:

Variations. The variations are principally the depths of the organic layers, which vary from 2.5 to 5 cm (1 to 2 inches), and the depth of the Ae, which varies from 2.5 to 5 cm (1 to 2 inches). The Bhf sometimes does not meet the organic matter requirement for the soil to be classified as an Orthic Ferro-Humic Podzol. The solum is usually deep, but may be only 38 cm (15 inches). The texture varies from a gravelly silt loam to a loamy gravel or gravelly sandy loam. The gravels are flat and angualr to subangular, and may vary from unsorted to relatively well sorted. The pH is 5.0 to 5.6 in the parent material and seldom over 6.5

Use. Very few of these soils have been cultivated. They are usually somewhat stony and the soils associated with them are usually stony and often steep. If they were cleared and not too stony, they would be fair soils for most crops. They are classified as 3FM. Approximately 56% of them are considered nonarable and 37% are marginal.

The details of the field description of the three profiles are as follows.

sucre, d'épinettes rouges et blanches, de sapins baumiers, de trembles, d'oxalide de montagne, de poils de siffleux, de bois d'orignal, de cornouillers du Canada et de dryoptéride spinuleuse. Ces sols appartiennent à la classification des podzols orthiques ferro-humiques. Voici une description d'un profil bien drainé:

Variations : Les variations ont essentiellement trait à la profondeur des couches organiques qui peut varier de 2,5 à 5 cm (1 à 3 pouces) et à la profondeur de l'horizon Ae qui varie de 2,5 à 5 cm (1 à 2 pouces). L'horizon Bhf n'a pas toujours la matière organique qu'il faut pour être classifié comme un podzol orthique ferro-humique. Le solum est généralement profond mais il peut n'avoir que 38 cm (15 pouces). La texture varie d'un lehm limoneux caillouteux à un gravier limoneux ou à un limon sableux caillouteux. Les graviers sont plats et angulaires à subangulaires et peuvent varier de non triés à relativement bien triés. Le pH est de 5,0 à 5,6 dans la roche-mère et dépasse rarement 6,5.

Utilisation. Très peu de ces sols ont été cultivés. Ils sont généralement quelque peu pierreux et les sols qui leur sont associés sont généralement pierreux et souvent en pente raide. S'ils étaient dégagés et pas trop pierreux, ils feraient des sols convenant à la plupart des cultures. Ils sont classifiés comme 3FM. Environ 56 % d'entre eux sont considérés comme incultivables et 37 % comme marginaux.

On trouvera ci-après la description de ces trois profils pédologiques.

Soil Profile No. 1; Block No. 1; Treatment=Control

Parent Material:
- Weathering - Chemical & physical
- Physical component - Coarse loamy and coarse silty
- Chemical component - Extremely/strongly acidic
- Deposition - Morainal (till) - Residual
- Lithological modifer - Sedimentary - Metamorphic

Landform Classification:
- Genetic materials - Morainal
- Surface expression - Undulating

Slope:
- Slope class % - 2+ - 55
- Aspect - Southwest
- Slope position - Upper slope
- Microtopography - Moderately mounded

Soil Moisture and Drainage:
- Moisture regime sub class - Perhumid
- Soil site drainage class - Well drained
- Soil perviousness class - Moderately pervious

Surface Runoff: - Moderate

Seepage: - Absent

Stoniness: - Moderately stony

Rockiness: - Nonrocky

Present Land Use:- Productive woodland

Profil pédologique n° 1; Bloc n° 1; Traitement = Témoin

Roche-mére :
- Altération - chimique et physique
- Constituants physiques - limon grossier et gros silt
- Constituants chimiques - extrêmement/fortement acides
- Dépôt - morainique - résiduel
- Modificateur lithologique - sédimentaire - métamorphique

Classification topographique :
- Matériaux génétiques - morainiques
- Expression superficielle - ondulante

Pente :
- Classe de pente % - 2+ - 5 %
- Aspect - sud-ouest
- Emplacement - pente supérieure
- Microtopographie - modérément monticulée

Humidité et drainage du sol :
- Sous-classe de régime hygrométrique - perhumide
- Classe de drainage du sol - bien drainé
- Classe de perméabilité du sol - modérément perméable

Ruisellement en surface : - Modéré

Suintement : - Absent

Pierrosité : - Modérée

Roccosité : - Absente

Utilisation actuelle : - Boisé productif

Soil Classification:
- Year of taxonomic system - 87
- Orthic Humo - Ferric Podzol

Mineral Soil Family Criteria:
- Particle size - Coarse silty/fragmental
- Mineralogy - Mixed clay ?
- Soil depth - Shallow lithic
- Reaction - Acid
- Soil Temperature - Cold
- Soil Moisture - Perhumid

Root Penetration Depth:
- 60 cm

Soil Profile Description

Horizon	Description
LFH	Thickness - 04-00 cm Rooting - plentiful medium
Ae	Thickness - 00-007 cm Aspect - 07 Color - 25YR 45/30 Texture - Silt Loam Structure - Structureless Consistency (moist) - Very friable Rooting - Plentiful medium Coarse fragments - Gravelly angular cobbly % Coarse fragments by volume - 10%
Bf1	Thickness - 07-20 cm Aspect - 07 Color - 75YR 35/50 Texture - Loam Structure - Structureless Consistency (moist) - Very friable

Classification du sol :
- Année du système taxinomique - 87
- Podzol orthique - humo-ferrique

Critères de la famille des sols minéraux :
- Granulométrie - limon grossier/ détritique
- Minéralogie - argile mélangé ?
- Profondeur du sol - lithique peu profond
- Réaction - acide
- Temp. du sol - froide
- Humidité du sol - perhumide

Profondeur de pénétration des racines: - 60 cm

Description du profil pédologique

Horizon	Description
LFH	Épaisseur - 04-00cm Racinement - abondant, racines moyennes
Ae	Épaisseur - 00-07cm Aspect - 07 Couleur - 25YR 45/30 Texture - limon fin Structure - sans Consistance (humidité) - très friable Racinement - abondant, racines moyennes Débris grossiers - caillouteux, angulaires, pierreux % débris grossiers par volume - 10 %
Bf1	Épaisseur - 07-20cm Aspect - 07 Couleur - 75YR 35/50 Texture - limon Structure - sans Consistance (humidité) - très friable

Rooting - Few fine and medium
Coarse fragments - Gravelly
% Coarse fragments by volume - 10%

Racinement - racines très fines à moyennes
Débris grossiers - caillouteux
% débris grossiers par volume - 10 %

Bf2 Thickness - 20-30 cm
Aspect - 07
Color - 100YR 40/60
Texture - Loam
Structure - Structureless
Consistency (moist) - Very friable
Rooting - Few coarse and fine
Coarse fragments - Gravelly
% Coarse fragments by volume - 10%

Bf2 Épaisseur - 20-30cm
Aspect - 07
Couleur - 100YR 40/60
Texture - limon
Structure - sans
Consistance (humidité) - très friable
Racinement - quelques racines grossières à fines
Débris grossiers - graveleux
% débris grossiers/vol. - 10 %

C Thickness - 30-60 cm
Aspect - 07
Color - 100YR 30/60
Texture - Silt loam
Structure - Structureless
Consistency (moist) - Friable
Rooting - Few coarse
Coarse fragments - Gravelly cherty angular cobbly
% Coarse fragments by volume - 20 %

C Épaisseur - 30-60cm
Aspect - 07
Couleur - 100YR 30/60
Texture - limon fin
Structure - sans
Consistance (humidité) - friable
Racinement - racines grossières
débris grossiers - graveleux, caillouteux, angulaires, pierreux
% débris grossiers par volume - 20 %

R Thickness - 60 cm

R Épaisseur - 60cm

Soil Profile No. 2; Block No. 4; Treatment = Whole-tree Harvest

Parent Material:
- Weathering - Chemical and physical
- Physical component - Skeletal
- Chemical component - Extremely/strongly acidic
- Deposition - Morainal (till) - Residual

Profil pédologique n° 2; Bloc n° 4; Traitement = Exploitation par arbres entiers

Roche-mére :
- Altération - chimique et physique
- Constituants physiques - squelettiques
- Constituants chimiques- extrêmement/fortement acides
- Dépôt - morainique (till) - résiduel

- Lithological modifer - Sedimentary - Metamorphic

Landform Classification:
- Genetic material - Morainal - Rubbly
- Surface expression - Undulating

Slope:
- Slope class % - 6+ - 9%
- Aspect - Southwest
- Slope position - Middle
- Microtopography - Moderately mounded

Soil Moisture and Drainage:
- Moisture regime (???) sub-class - Perhumid
- Soil site drainage class - Well drained
- Soil perviousness class - Moderately pervious

Surface Runoff: - Moderate

Seepage: - Absent

Stoniness: - Very stony

Rockiness: - Nonrocky

Present land use: - Productive woodland

Soil classification:
- Year of taxonomic system - 87
- Orthic Humo-Ferric Podzol

Mineral Soil Family Criteria:
- Particle size - Coarse silty/fragmental
- Mineralogy -
- Soil depth - shallow lithic
- Reaction - Acid
- Soil Temperature - Cold
- Soil Moisture - Perhumid

- Modificateur lithologique - sédimentaire - métamorphique

Classification topographique :
- Matériaux génétiques - morainiques - blocailleux
- Expression superficielle - accidentée

Pente :
- Classe de pente % - 6+ - 9 %
- Aspect - sud-ouest
- Position - médiane
- Microtopographie- modérément monticulée

Humidité et drainage du sol :
- Sous-classe de régime hygrométrique - perhumide
- Classe de drainage du sol - bien drainé
- Classe de perméabilité du sol - modérément perméable

Écoulement superficiel : - Modéré

Suintement : - Absent

Pierrosité : - Prononcée

Roccosité : - Absente

Utilisation actuelle des terrains : - Boisé productif

Classification du sol :
- Année du système taxinomique - 87
- Podzol orthique - humo-ferrique

Critères de la famille des sols minéraux :
- Granulométrie - limon grossier/détritique
- Minéralogie -
- Profondeur du sol - lithique peu profond

- Réaction - acide
- Temp. du sol - froide
- Humidité du sol - perhumide

Root Penetration Depth:
- 38 cm

Profondeur de pénétration des racines: - 38 cm

Soil Profile Description:

Horizon	Description
LFH	Thickness - 07-00 cm Rooting - plentiful Very Fine
Ae	Thickness - 00-10 Aspect - 07 Color - 25YR 45/30 Texture - Silt loam Structure - Structureless Consistency (moist) - Friable Rooting - Plentiful Fine and Medium Coarse fragments - Gravelly angular cobbly % Coarse fragments by volume - 20%
Bf1	Thickness - 10-20 cm Aspect - 07 Color - 50YR 35/50 Texture - Silt loam Structure - Structureless Consistency (moist) - Very friable Rooting - Abundant Fine and Medium Coarse fragments - Gravelly angular cobbly % Coarse fragments by volume - 30%
Bf2	Thickness - 20-38 cm Aspect - 07 Color - 50YR 30/50

Description du profil pédologique

Horizon	Description
LFH	Épaisseur - 07-00 cm Racinement - abondant, très fines racines
Ae	Épaisseur - 00-10 Aspect - 07 Couleur - 25YR 45/30 Texture - lehm Structure - sans structure Consistance (humidité) - friable Racinement - abondant, racines fines et moyennes Débris grossiers - graveleux, angulaires, pierreux % débris grossiers par volume - 20 %
Bf1	Épaisseur - 10-20 cm Aspect - 07 Couleur - 50YR 35/50 Texture - lehm Structure - sans structure Consistance (humidité) - très friable Racinement - abondant, racines fines et moyennes Débris grossiers - graveleux, angulaires, pierreux % débris grossiers par volume - 30 %
Bf2	Épaisseur - 20-38 cm Aspect - 07 Couleur - 50YR 30/50

Texture - Silt loam
Structure - Structureless
Consistency (moist) - Very friable
Rooting - Abundant Medium and Fine
Coarse fragments - Gravelly angular cobbly
% Coarse fragments by volume - 40%

Ccj

Thickness - 38-44 cm
Aspect - 07
Color - 50YR 30/50
Texture - Loam
Structure - Structureless
Consistency (moist) - Firm
Rooting -
Coarse fragments - Gravelly angluar cobbly
% Coarse fragments by volume - 80%
Cementing agent - Silica (iron)
Degree - Weakly cemented
Extent - Discontinuous

C

Thickness - 44-65 cm
Aspect - 07
Color - 100 YR 30/60
Texture - Loam
Structure - Structureless
Consistency (moist) - Friable
Rooting -
Coarse fragments - Gravelly angular cobbly
% Coarse fragments by volume - 80%

R

Thickness - 65 cm

Texture - lehm
Structure - sans structure
Consistance (humidité) - très friable
Racinement - abondant, racines moyennes et fines
Débris grossiers - graveleux, angulaires, pierreux
% débris grossiers par volume - 40 %

Ccj

Épaisseur - 38-44 cm
Aspect - 07
Couleur - 50YR 30/50
Texture - limon
Structure - sans structure
Consistance (humidité) - ferme
Racinement -
Débris grossiers - graveleux, angulaires, pierreux
% débris grossiers par volume - 80 %
Agent de cimentation - silice (fer)
Niveau - faiblement cimenté
Étendue - discontinue

C

Épaisseur - 44-65 cm
Aspect - 07
Couleur - 100YR 30/60
Texture - limon
Structure - sans structure
Consistance (humidité) - friable
Racinement -
Débris grossiers -graveleux, angulaires, pierreux
% débris grossiers par volume - 80 %

R

Épaisseur - 65

Table 5. Total and merchantable biomass (kg/ha) and percent increase in biomass removed from site due to whole-tree harvesting of the lysimeter study site

Tableau 5. Biomasse totale et commercialisable (kg/ha) et pourcentage d'augmentation de la biomasse éliminée du site par suite de la récolte d'arbres entiers sur le site de l'étude lysimétrique

	Softwoods/ Résineux	Hardwoods/ Feuillus	Total
Total/Totale	71072	72781	143853
Merchantable/Commercialisable	69404	70707	140111
Percent increase/Pourcentage d'augmentation	36	26	31

Soil Profile No. 3; Block No. 7; Treatment = Conventional Harvest

Parent Material:
- Weathering - Chemical and physical
- Physical component - Skeletal
- Chemical component - Extremely/ strongly acidic
- Deposition - Morainal (till) - Residual
- Lithological modifer - Sedimentary - Metamorphic

Landform Classification:
- Genetic materials - Morainal - rubbly
- Surface expression - Undulating

Slope:
- Slope class % - 2+ - 5%
- Aspect - Southwest
- Slope position - Lower slope
- Microtopography - Moderately mounded

Soil Moisture and Drainage:
- Moisture regime sub-class - Perhumid
- Soil site drainage class - Well drained
- Soil perviousness classs - Moderately pervious

Profil pédologique n° 3; Bloc n° 7; Traitement = Exploitation classique

Roche-mére :
- Altération - chimique et physique
- Constituants physiques - squelettiques
- Constituants chimiques - extrêmement/fortement acides
- Dépôt - morainique (till) - résiduel
- Modificateur lithologique - sédimentaire - métamorphique

Classification topographique :
- Matériaux génétiques - morainiques - blocailleux
- Expression superficielle - accidentée

Pente :
- Classe de pente % - 2+ - 5 %
- Aspect - sud-ouest
- Position - inférieure
- Microtopographie- modérément monticulée

Humidité et drainage du sol :
- Sous-classe de régime hygrométrique - perhumide
- Classe de drainage du sol - bien drainé

- Classe de perméabilité du sol - modérément perméable

Surface Runoff: - Moderate

Seepage: - Absent

Stoniness: - Moderately stony

Rockiness: - Nonrocky

Present land use: - Productive woodland

Soil Classification:
- Year of taxonomic system - 87
- Orthic Humo-Ferric Podzol

Mineral Soil Family Criteria:
- Particle size - Coarse silty/fragmental
- Mineralogy -
- Soil depth - Shallow lithic
- Reaction - Acid
- Soil temperature - Cold
- Soil moisture - Perhumid

Root Penetration Depth:

Soil Profile Description:

Horizon	Description
LFH	Thickness - 08-00 cm Rooting - plentiful Very Fine, Fine and Medium
Ae	Thickness - 00-12 Aspect - 07 Color - 25YR 45/30 Texture - Loam Structure - Structureless Consistency (moist) - Friable

Écoulement superficiel : - Modéré

Suintement : - Absent

Pierrosité : - Modérée

Roccosité : - Non rocailleux

Utilisation actuelle des terrains :
- Boisé productif

Classification du sol :
- Année du système taxinomique - 87
- Podzol orthique - humo-ferrique

Critères de la famille des sols minéraux :
- Grosseur des particules - limon grossier/détritique
- Minéralogie -
- Profondeur du sol - lithique peu profond
- Réaction - acide
- Temp. du sol - froide
- Humidité du sol - perhumide

Profondeur de pénétration des racines :

Description du profil pédologique

Horizon	Description
LFH	Épaisseur - 08-00 cm Racinement - abondant, racines très fines, fines et moyennes
Ae	Épaisseur - 00-12 Aspect - 07 Couleur - 25YR 45/30 Texture - limon Structure - sans structure

Rooting - Few fine
Coarse fragments - Gravelly
% Coarse fragments by volume - 10%

Consistance (humidité) - friable
Racinement - quelques racines fines
Débris grossiers - graveleux
% débris grossiers par volume - 10 %

Bf

Thickness - 12-33 cm
Aspect - 07
Color - 75YR 35/30
Texture - Loam
Structure - Structureless
Consistency (moist) - Very Friable
Rooting - Abundant fine and medium
Coarse fragments - Gravelly
% Coarse fragments by volume - 10%

Bf

Épaisseur - 12-13 cm
Aspect - 07
Couleur - 75YR 35/30
Texture - limon
Structure - sans structure
Consistance (humidité) - très friable
Racinement - abondant, racines fines et moyennes
Débris grossiers - graveleux
% débris grossiers par volume - 10 %

BC

Thickness - 33-65 cm
Aspect - 07
Color - 100YR 40/60
Texture - Silt loam
Structure - Structureless
Consistency (moist) - Very Friable
Rooting - Few fine
Coarse fragments - Gravelly
% Coarse fragments by volume - 20%

BC

Épaisseur - 33-65 cm
Aspect - 07
Couleur - 100YR 40/60
Texture - lehm
Structure - sans structure
Consistance (humidité) - très friable
Racinement - quelques racines fines
Débris grossiers - graveleux
% débris grossiers par volume - 20 %

C

Thickness - 65 cm
Aspect - 07
Color - 100YR 30/60
Texture - Loam
Structure - Structureless
Consistency (moist) - Friable
Rooting -
Coarse fragments - Angular gravelly
% Coarse fragments by volume - 70%

C

Épaisseur - 65 cm
Aspect - 07
Couleur - 100YR 30/60
Texture - limon
Structure - sans structure
Consistance (humidité) - friable
Racinement -
Débris grossiers - angulaires, graveleux
% débris grossiers par volume - 70 %

Table 6. Percentage estimates of increased nutrient removal due to whole-tree harvesting at the Deersdale lysimeter study site

Tableau 6. Pourcentage estimé de l'augmentation des éléments nutritifs éliminés par suite de la récolte d'arbres entiers sur le site de l'étude lysimétrique de Deersdale

Element/Élément	Species/Espèce					
	W Spruce/ Épinette b	W Birch/ Bouleau b	Y Birch/ Bouleau j	B Fir/ Sapin b	S Maple/ Érable as	B Spruce/ Épinette n
Nitrogen/Azote	25.27	163.64	151.47	290.08	111.50	105.55
Calcium	83.84	84.10	78.45	159.62	58.08	124.63
Magnesium/Magnésium	112.28	66.78	62.46	97.59	43.20	41.70
Sulfur/Soufre	237.29	161.00	149.20	210.25	108.06	347.29
Manganese/Manganèse	78.98	63.92	60.07	93.55	56.17	99.41
Iron/Fer	120.74	103.75	96.95	190.10	54.11	140.82
Sodium	111.02	105.33	98.14	146.91	79.46	108.18
Boron/Bore	49.86	52.17	49.72	68.21	56.30	45.15
Copper/Cuivre	43.67	55.99	52.81	56.63	45.20	47.58
Aluminum/Aluminium	134.15	146.50	136.06	333.02	102.93	298.16
Zinc	67.12	97.94	91.29	124.60	66.85	93.35
Lead/Plomb	21.79	29.40	28.32	225.38	83.43	99.50
Ash/Cendres	154.98	102.12	94.92	162.04	71.95	171.95

Table 7. Observed pH and electrical conductivity of leachates collected during August 1989

Tableau 7. pH et conductivité électrique observés des produits de lessivage recueillis en août 1989

Parameter/ Paramètre	Depth/ Profondeur	Treatments/Mode d'exploitation					
		Conventional/ Classique 1		Whole-Tree/Par arbres entiers 2		Control/ Témoin 4	
		Mean/ Moyenne	SE/ ET	Mean/ Moyenne	SE/ ET	Mean/ Moyenne	SE/ ET
pH	Organic/Organique	5.9	0.2	6.2	0.2	5.8	0.4
	Midpoint/Milieu	6.9	0.1	6.9	0.1	6.4	0.6
	Lower root zone/ Zone racinaire inférieure	6.6	0.2	6.7	0.1	6.6	0.2
EC (µS/cm)	Organic/Organique	111.3	15	108.0	7	45.8	3
	Midpoint/Milieu	71.8	7	57.8	7	80.2	29
	Lower root zone/ Zone racinaire inférieure	46.1	13	55.8	5	45.0	12

Estimation of biomass and nutrients removed:

Certain assumptions were made in calculating the biomass removals: (a) only the merchantable trees were removed and (b) the tops with less than 7 cm diameter were left *in situ* during the conventional harvest. In fact, these assumptions are not incorrect. Presented in Tables 5 and 6 are the additional quantities of biomass and nutrients removed from the site due to whole-tree harvesting as compared to conventional harvesting. The values in terms of the percent increases in both biomass and nutrient removals are in complete agreement with the data collected from throughout New Brunswick (Mahendrappa *et al.* 1989).

Soil Solution Chemistry:

The installation of lysimeters was completed during the third week of July, 1989. Hence, the first leachate collected represents the status of nutrients in the soil during the month of August. In all three sets of leachates were samples obtained in 1989. It was quite encouraging to know that over 95% (87 out of 90 installed) of the lysimeters yielded leachates. After the final collection of leachates, the lysimeters were filled with 50% by volume ethyl alcohol and water mixture to (hopefully) prevent the frost from cracking the glass lysimeters. Also, the fiberglass covers were supported with saw horses to prevent them from caving in due to snow accumulation. Analyses of only the first set of leachates (collected during the first week of September) are available at present. A sample of data in terms of pH and electrical conductivity are shown in Table 7. Although the data show some

Estimation de la biomasse et des éléments nutritifs enlevés :

On est parti de certaines hypothèses pour calculer la biomasse éliminée : a) seuls les arbres commercialisables ont été abattus et b) les cimes de moins de 7 cm de diamètre ont été laissées sur place durant l'exploitation classique. En fait, ces hypothèses ne sont pas inexactes. On trouvera aux tableaux 5 et 6 les volumes supplémentaires de biomasse et d'éléments nutritifs éliminés du site à cause de l'exploitation par arbres entiers par rapport à une exploitation classique. Les valeurs qui correspondent aux pourcentages d'augmentation de la biomasse et des éléments nutritifs éliminés concordent parfaitement avec les données recueillies à travers le Nouveau-Brunswick (Mahendrappa *et al.*, 1989).

Chimie de la solution du sol :

Les lysimètres ont été installés la troisième semaine de juillet 1989. C'est ainsi que les premiers produits de lessivage recueillis symbolisent l'équilibre nutritif du sol au mois d'août. Les trois séries de produits de lessivage contenaient des échantillons prélevés en 1989. Il a été gratifiant de constater que plus de 95 pour cent (87 sur les 90 installés) des lysimètres ont donné des produits de lessivage. Après la dernière collecte, les lysimètres ont été remplis d'un mélange d'eau et d'éthanol à raison de 50 pour cent par volume pour empêcher le gel de fendiller les lysimètres en verre. Par ailleurs, on a contrebouté les couvercles en fibre de verre par des chevalets de scieur pour les empêcher de s'enfoncer sous l'accumulation de neige. On ne dispose pour l'heure que des analyses de la première série de produits de lessivage (recueillis la première

trends, no comments will be made prematurely (it is not very easy to resist the temptation and refrain from making pronouncements, though).

semaine de septembre). Les données relatives au pH et à la conductance électrique figurent au tableau 7. Bien qu'elles soient indicatives de certaines tendances, on s'abstiendra de les interpréter de façon prématurée (même s'il est difficile de résister à la tentation de se prononcer sur la question).

References

Ker, M.F. 1984. Biomass equations for seven major Maritimes tree species. For. Can. - Maritimes Region Information Report M-X-148.

Langmaid, K.K., MacMillan, J.K., and Losier, J.G. 1976. Soils of northern Victoria County, New Brunswick. Seventh Report of the New Brunswick Soil Survey; Can. Dept. Agric.

Mahendrappa, M.K., van Raalte, G.D, and Maliondo, S.M. 1989. Forest biomass and nutrient inventories in New Brunswick. Proc. of the 7th Bioenergy R & D Seminar, Ottawa, April 24-26, 1989, Energy, Mines and Resources Canada.

Riekerk, H., and Morris, L.A. 1983. A constant potential soil water sampler. Soil Sci. Soc. Am. J. 47: 606-608.

Bibliographie

Ker, M.F. 1984. Biomass equations for seven major Maritimes tree species. Forêts Canada - Région des Maritimes Rapport d'information M-X-148.

Langmaid, K.K., MacMillan, J.K. and Losier, J.G. 1976. Soils of Northern Victoria County, New Brunswick. Septième étude pédologique du Nouveau-Brunswick, ministère de l'Agriculture du Canada.

Mahendrappa, M.K., van Raalte, G.D., and Maliondo, S.M. 1989. Forest biomass and nutrient inventories in New Brunswick. Actes du septième séminaire de R-D en bioénergie tenu à Ottawa du 24 au 26 avril 1989 par Énergie, Mines et Ressources Canada.

Riekerk, H. and Morris, L.A. 1983. A constant potential soil water sampler. Soil Sci. Soc. Am. J. 47: 606-608.

ERIK WANG

New Brunswick Executive Forest Research Committee

I will do my best to highlight some of the points that were made. I thoroughly enjoyed the day and thought it was an extremely worthwhile session. I won't try to summarize any of the data that was presented today. I am not sure I could and draw the right conclusions. But I would like to summarize some of the points that each of the speakers made because I feel there were some important concepts laid out here today.

I really enjoyed the first presentation given by Max McCormack. His viewpoint is always practical, therefore, I think it is extremely valuable. We have to put all these concepts into some practical framework. One of the points that he made was the difference between looking at extremes in concepts versus looking at the operational range that we are actually dealing with. We tend to move from one extreme to the other, whether it be whole-tree logging versus selective harvesting or whether it be natural regeneration management versus plantations. In actual fact, what we're doing out there in the woods covers a range of activities on a range of sites to try to achieve a range of objectives. There is no one problem nor one solution. Max indicated in the review of literature that there are some significant gaps in information. He mentioned a number of them. I think that three of them are significant in this context. First, there is a general dearth of information on nutrient cycling. Second, the impacts of short rotation have been discussed here a few times today. These could be a cause for concern. Finally, the post-harvest succession effect of different harvesting systems has

ERIK WANG

Comité exécutif de rechercher forestière de Nouveau-Brunswick

Je ferai de mon mieux pour reprendre certains des propos tenus aujourd'hui. J'ai trouvé la journée particulièrement plaisante et intéressante. Mon intention n'est pas de faire le résumé des données présentées. Je ne suis pas sûr en effet de pouvoir tirer les conclusions qui s'imposent. Mais j'aimerais résumer certains propos de chacun des conférenciers car j'estime que d'importantes notions ont été exposées ici aujourd'hui.

J'ai beaucoup aimé la première présentation de Max McCormack. Son point de vue est toujours pragmatique et par conséquent extrêmement précieux. Nous devons placer tous ces concepts dans un cadre pragmatique. L'une de ses remarques concerne la différence entre l'extrémisme au niveau des concepts et la gamme opérationnelle dont nous disposons en réalité. Nous avons tendance à passer d'une extrême à l'autre, qu'il s'agisse de l'exploitation par arbres entiers opposée la récolte d'écrémage ou de l'aménagement en vue d'une régénération naturelle opposé à des plantations. Dans la réalité, nos activités dans les bois couvrent toute un éventail d'opérations sur toute un éventail de sites en vue d'atteindre tout un éventail d'objectifs. Il n'y a pas un seul et unique problème ni une seule et unique solution. Max a fait observer dans son analyse de la documentation qu'il existe certaines lacunes importantes au niveau de l'information. Il en a mentionné certaines. Je pense que trois d'entre elles revêtent de l'importance à cet égard. En premier lieu, il existe une pénurie générale de

the most immediate and dramatic effect. It's the one that's manageable if we understand what's going on.

Max then reviewed the harvesting system evolution and indicated that it is constantly changing. We are going to run into problems if we try to tie long-term studies to particular pieces of equipment because the equipment will be in the museum before the study is completed. We have to tie the studies to their effects on the site and try to relate pieces of equipment to what they do to a particular site. In closing, he mentioned some long-term considerations in addition to nutrient cycling, looking at the operational values that we are trying to achieve, our regeneration objectives, and the rotation lengths that we have incorporated in our management plans. He also discussed the future systems that we see coming down the road and the continuity of management into which we are trying to apply all these operational techniques. And last, but certainly not least, we need to consider the environmental values that we are trying to deal with, including the wildlife values.

Then we went on to a series of discussions relating to experiments that have been undertaken in various parts of the world. Dr. Andersson from Sweden dealt with the potential effects, including structural changes to the vegetation and long-

données sur le cycle des éléments nutritifs et en deuxième lieu, les incidences de courtes révolutions ont été abordées ici plusieurs fois aujourd'hui. Il y a là matière à s'inquiéter. Enfin, l'effet de succession de différents systèmes d'exploitation a des conséquences aussi spectaculaires qu'immédiates. C'est lui qu'il faut retenir si nous comprenons ce qui se passe.

Max a ensuite parlé de l'évolution des systèmes d'exploitation et indiqué qu'ils changeaient constamment. Nous risquons de nous heurter à des problèmes si nous tentons d'établir un lien entre les études à long terme et certaines machines, attendu que ces machines seront des pièces de musée bien avant l'achèvement des études en question. Nous devons lier les études à leurs effets sur le site et tenter d'établir une relation entre les machines et ce qu'elles font sur un site en particulier. Pour terminer, il a mentionné certains problèmes à long terme en dehors du cycle des éléments nutritifs en analysant les valeurs opérationnelles de ce que nous espérons réaliser, les objectifs de la régénération et la durée des révolutions que nous avons intégrée dans nos plans d'aménagement. Il a également abordé les systèmes que nous voyons pointer à l'horizon et parlé de la continuité de l'aménagement à laquelle nous nous efforçons d'appliquer toutes ces techniques opérationnelles. Enfin, il a vivement prôné les valeurs de l'environnement, notamment celle de la faune.

Puis nous sommes passés à une série d'exposés sur les expériences pratiquées dans diverses parties du monde. M. Andersson, de Suède, a parlé des effets potentiels de la méthode d'exploitation, notamment des changements struc-

term productivity and growth. Their experiments are probably the longest term trials in the world dating back as far as 1928. In general, their observations are that they could see potential yield impacts at rotation of 1-4%, either from intensive harvesting at the final harvest stage or at the thinning stage. He also emphasized (and this is important - I think we came away with this point) that these are site and region specific results. He mentioned that, in some cases, where growth reductions of 1-4% are incurred, the possibility of extending a rotation length is a way to compensate. The only thing we have to bear in mind is that we are dependent on harvesting plantations at a certain age in our current management strategies and we would want to evaluate the effects of extending them before we look at that as a solution. He also cautioned us that the long-term effects might be significantly greater if aggravated or put in combination with the impacts of acid precipitation. The Swedish measures included regional and site specific recommendations on the types of harvesting systems to be employed. Also, the possible counter measures in cases where we would anticipate nutrient depletion would include replacing some of the fine slash which contains a large proportion of the nutrients, protecting organic matter, fertilization and so on.

aux qu'elle fait subir à la végétation, ainsi que de la productivité à long terme et de la croissance. L'expérience suédoise est sans doute la plus longue au monde puisqu'elle remonte à 1928. En général, la Suède estime qu'une augmentation du rendement de 1 % à 4 % est possible, par une exploitation intensive au stade de la récolte finale OU de l'éclaircie. M. Andersson a également fait observer (et cette observation mérite plus ample réflexion) que ces résultats sont propres à chaque site et à chaque région. Il a déclaré que dans certains cas où l'on enregistre une baisse de croissance de 1 % à 4 %, l'idée de prolonger la durée de la révolution pourrait permettre de remédier au problème. La seule chose que nous devons nous rappeler est que nous sommes tributaires des récoltes et des plantations à un certain stade de nos méthodes d'aménagement actuelles, ce qui explique que nous devions évaluer les effets de leur prolongation avant de les envisager comme solution. Il nous a également avertis que les effets à long terme risquent d'être sensiblement plus graves si l'on y ajoute les incidences des pluies acides. Les mesures suédoises comportent des recommandations propres à chaque région et à chaque site sur les types de systèmes d'exploitation à utiliser. Par ailleurs, parmi les contre-mesures éventuelles à prendre chaque fois que nous anticipons un épuisement des éléments nutritifs, mentionnons le remplacement de certains des rémanents fins qui renferment une forte proportion des éléments nutritifs, la protection de la matière organique, la fertilisation des sols, etc.

Dr. Smith reviewed about 10 years of study in Maine, where they observed nutrient removal and redistribution, stream water nutrient losses, and site dis-

M. Smith a passé en revue environ dix ans d'études dans le Maine sur l'élimination et la redistribution des éléments nutritifs, les déperditions d'éléments nutritifs dans les

turbance in stands that I think are very similar to what we are dealing with in New Brunswick. Their conclusions, based on, as he indicated, a short history of experimentation, were that the whole-tree logging system removes a significant amount of nutrients. The limbs and branches alone (in particular, the fine branching) account for anywhere from 30 to 60% of biomass, a significant amount. The net watershed loss of bases should be a cause for concern. The site disturbance also significantly affects plant productivity. Again, it was emphasized that the studies which they undertook in Maine were on specific sites that represented (the way I interpret it) more or less the site condition of the State of Maine. The conclusions are site specific.

cours d'eau et le bouleversement du sol dans des peuplements qui, à mon avis, ressemblent de près à ceux que nous connaissons au Nouveau-Brunswick. Ses conclusions, basées sur un bref historique des expériences tentées, consistent à dire que l'abattage par arbres entiers entraîne la déperdition d'un volume important d'éléments nutritifs. Les branches et les rameaux représentent entre 30 % et 60 % de la biomasse, ce qui est un volume appréciable. En particulier les fines ramifications. Les pertes basiques nettes dans le bassin versant sont un autre sujet de préoccupation. Le bouleversement du sol exerce également une influence notoire sur la productivité des plantes. À nouveau, on nous a répété que les études entreprises dans le Maine étaient réalisées sur des sites spécifiques qui représentent (du moins tel que je l'interprète) une situation propre à l'État du Maine. Les conclusions sont donc stationnelles.

Dr. Hornbeck, from New Hampshire, indicated that, with respect to nutrient cycling, we need to consider not only the harvesting impact, but also the past history of land use and the effects of acid precipitation, as was mentioned by some of the other speakers. He emphasized that the potential removals again are a function not only of site but also the forest types we are dealing with. There could be large differences depending on the type of forest we're operating in. Total amounts removed from different forest types might not have been that much different, but the proportional removal varied significantly across forest types. They demonstrated this using calcium as an example. They see, based on their studies, a potential for serious calcium depletion depending again on the combination of harvesting

Monsieur Hornbeck, du New Hampshire, a déclaré en ce qui concerne le cycle des éléments nutritifs, que nous ne devons pas seulement tenir compte de l'effet de la méthode d'exploitation mais également de l'utilisation antérieure des sols et des effets des pluies acides, reprenant là les propos de certains autres conférenciers. Il a souligné que les éliminations potentielles sont à nouveau fonction du site, mais également du type de forêt que nous exploitons. Il peut donc y avoir de grosses différences selon le type de forêt. Les quantités totales éliminées des différents types de forêts auraient pu ne pas être aussi variables, mais elles le sont. Il a démontré cela en prenant l'exemple du calcium. Les études à ce sujet révèlent un sérieux risque d'épuisement du calcium qui est fonction à nouveau d'un concours

system, past land use on the site, and the level of acid precipitation that could complicate the issue. Furthermore, the net impact would be different depending on the site and forest type involved.

Dr. Mahendrappa from Forestry Canada expressed the general concerns that have been raised in the past few years in this province about intensive harvesting and the potential for acidification. The concerns focused on a loss of cations, the rise in soil temperatures, increased organic matter decomposition, and increased nitrification. Their review of the literature had generally supported those hypotheses, again emphasizing that the degree of acidification you would expect would depend on the site class and the species that you happen to be dealing with. I think it is encouraging to see industry participating with Forestry Canada in the lysimeter studies that Taumey mentioned. The general indication is that there has not been an overwhelming concern expressed by industry - that they see no problem out there. However, there is a concern that there is a basic biological process which might be affected by whole-tree logging and that we should know more about it. At the close of that discussion, there was a debate regarding the pros and cons of whole-tree logging. It's interesting that this discussion came up relatively late in the meeting. A bit of a review followed as to why we are whole-tree logging in the first place. The points were made that the decisions to go to whole-tree logging were largely based on the available labor force, escalating wood costs, the need for mechanization, escalating worker compensation costs associated with de-limbing on site, relationship to silviculture efforts, the pos-

de circonstances, comme la méthode d'exploitation utilisée, l'utilisation antérieure des terres et le niveau des précipitations acides qui viennent aggraver encore le problème. Sans oublier que l'effet net diffère selon le site et le type de forêt considéré.

Monsieur Mahendrappa de Forêts Canada a exposé les préoccupations générales que soulèvent depuis quelques années au Nouveau-Brunswick l'exploitation intensive des forêts et le potentiel d'acidification des sols. Au nombre de ces préoccupations, mentionnons la perte des cations, la hausse des températures du sol, l'augmentation de la décomposition de la matière organique et une hausse de la nitrification. L'analyse de Mahendrappa corrobore à nouveau l'hypothèse selon laquelle le niveau d'acidification auquel on peut s'attendre dépend de la classe du site et de l'espèce exploitée. Il est encourageant de voir le secteur privé collaborer avec Forêts Canada aux études lysimétriques mentionnées par Taumey. L'impression générale est que l'industrie ne semble pas trop s'en faire à ce sujet. Toutefois, il semble qu'un processus biologique soit affecté par la récolte d'arbres entiers et nous devons l'étudier de plus près. Cette communication a cédé la place à un débat sur le pour et le contre de l'exploitation par arbres entiers. Il est intéressant de noter que ce débat est intervenu vers la fin de la réunion. Les intervenants se sont interrogés sur la raison d'être de ce mode d'exploitation. La décision de faire de l'exploitation par arbres entiers est essentiellement basée sur les effectifs disponibles, sur l'escalade des coûts du bois et le besoin de mécaniser les opérations, sur l'escalade des coûts des accidents du travail liés à l'ébranchage sur place, sur la relation avec les activités sylvicoles et

sible cost savings of silviculture programs associated with whole-tree logging, and provision of additional fiber to support the biomass industry. The point was made in that discussion that we have to put the positive economic factors associated with increased fiber removal in the context of what the forest will sustain. I don't think there is a responsible forester in the room who will disagree with that. The point is to get enough understanding of the problem so we can in fact put the issue in context.

The panel discussion got off quietly to begin with, but it livened up in short order. I think the most encouraging thing that came out of the panel discussion was a discussion of alternatives. It's getting back to Max's point at the beginning. We are dealing with a variety of conditions and a variety of objectives. We talked about whole-tree harvesting systems and Bob Eastwood (J.D. Irving) indicated the interest in getting into short wood systems in some forest types and the lack of equipment to do so. There is potential to apply shelterwood and other regeneration systems, consider long rotations versus short rotations, etc. There are a lot of options available. The worst thing we could do would be to select one and throw the others out the window. Harvesting systems, whatever they are, require some guidelines for use. Not prescriptions that say, "Thou shalt do this on this site," but some understanding of the effects of a particular harvesting system on a particular site. We are developing a site classification system in this province. It is a great start, but we have got to know what the effects are of different treatments on different sites if we are to make it work. I think there is a good opportunity here if we are trying to develop more information in this area to relate it to the specific site

les économies qui peuvent résulter de ce mode d'exploitation et enfin sur la provision de fibres additionnelles pour appuyer l'industrie de la biomasse. L'un des intervenants a déclaré que nous devons situer les facteurs économiques positifs liés au défibrage accru dans le contexte de ce à quoi contribue la forêt. Je ne pense pas qu'il y ait un seul forestier responsable dans cette pièce qui récuserait cette affirmation. L'idée est de suffisamment expliciter le problème pour pouvoir le situer dans ce contexte.

La table ronde a débuté sur un rythme lent pour s'animer peu à peu. Je pense que l'élément le plus encourageant de cette table ronde a été l'analyse des options. Nous en revenons à la communication de Max au début. Nous sommes en effet en présence d'une diversité de conditions et d'objectifs. Nous avons parlé des systèmes d'exploitation par arbres entiers et Bob Eastwood (J.D. Irving) a mentionné l'intérêt que suscite l'exploitation en bois court dans certains types de forêts et le manque d'équipement pour y parvenir. Il faut songer au mode de régénération par coupes progressives et à d'autres modes de régénération, envisager de longues plutôt que de courtes révolutions, etc. Il existe toutes sortes d'options. L'erreur à ne pas commettre est d'en sélectionner une aux dépens de toutes les autres.

Les systèmes d'exploitation, quels qu'ils soient, appellent certaines directives. Non pas des directives du type "Fais ce que dois sur ce site" mais une compréhension des effets d'un système d'exploitation donné sur un site particulier. Nous travaillons au Nouveau-Brunswick à la conception d'un système de classification des sites. C'est un bon début, mais nous devons connaître les

conditions that we can identify. Another point that was made from a research aspect was that, if we are going to generate more useful information in this area, we need to make much stronger links between nutritional studies and productivity. That is the thing that is really missing if we are to put this into a management context. I think it is clear that different harvesting systems affect the nutrient cycle in different ways. Certainly, whole-tree harvesting affects it. The question is to what extent is that translated into growth and yield impact and to what extent these impact on forest management objectives. That's the link we have got to make in order to make some decisions.

différents traitements sur différents sites si nous voulons qu'il produise les résultats escomptés. Je pense que les possibilités sont bonnes si nous multiplions les données pour les corréler aux conditions stationnelles que nous pouvons identifier. Par ailleurs, si nous voulons obtenir un plus grand nombre de renseignements utiles dans ce domaine, nous devons établir des liens beaucoup plus étroits entre les études nutritives et la productivité. C'est l'élément manquant si nous voulons situer ce phénomène dans un contexte administratif. Je pense qu'il est clair que différents systèmes d'exploitation affectent le cycle des éléments nutritifs de différentes façons. Il est incontestable que l'exploitation par arbres entiers a un effet sur ce cycle. La question est de savoir dans quelle mesure cela influe sur la croissance et le rendement et également sur les objectifs d'aménagement des forêts. Voilà le lien à établir si nous voulons prendre des décisions avisées.

So, overall, we should be considering, from my interpretation of the discussion today, not only nutrient availability, but, in particular, how we are affecting the initial post-harvest structure and subsequent succession on these sites, with different systems, considering carefully the interaction with acid precipitation. We must put these effects in the context of the region, the site, and the forest type we're dealing with.

Si j'ai bien compris les exposés d'aujourd'hui, nous ne devons pas seulement prendre en considération l'assimilabilité des éléments nutritifs mais l'action qu'exercent différents systèmes d'exploitation sur la structure post-récolte et la succession qui s'ensuit sur ces sites, en tenant compte également de l'action des précipitations acides. Nous devons établir la relation entre ces effets et la région, le site et le type de forêt que nous exploitons.

Tom Sterner indicated at the beginning that we wouldn't get any definitive answers out of this meeting and I think he's a pretty good prophet. However, we shouldn't have expected any definitive answers. I was asked by David Malcolm (CBC) earlier, "are we getting any

Tom Sterner a fait observer au début que cette réunion ne produirait aucune réponse définitive et je sais qu'il est assez bon prophète dans son domaine. Mais je sais aussi que nous n'attendions aucune réponse définitive. David Malcolm (de la CBC) m'a demandé plus tôt si nous al-

answers here today?" What's the question? If somebody asks, "does whole-tree logging affect the nutrient cycle?" the answer is yes. Certainly the studies and the numbers indicate that. "Can there be a measurable effect on stand growth?" The answer is yes. In Sweden, they have measured the effect on stand growth and, assuming that their measurement is correct, the effect is therefore measureable. "Should this be a cause for concern?" I think any responsible forester would say it is a cause for concern. "Do we have a management problem on our sites in New Brunswick?" I have absolutely no idea. I think that is where we have to make a link - I think that if any treatments such as this have an impact on site productivity we ought to understand as much as possible and make reasonably informed decisions.

lions trouver des réponses à nos questions aujourd'hui. Mais quelle est la question? Si quelqu'un me demande "l'exploitation par arbres entiers affecte-t-elle le cycle des éléments nutritifs", la réponse est oui. Il suffit d'analyser les études et les chiffres. "A-t-elle un effet mesurable sur la croissance des peuplements?" La réponse est oui. Les Suédois ont mesuré un de ces effets sur la croissance des peuplements et si l'on admet que leur mesure est exacte, l'effet est dès lors mesurable. "Est-ce là un motif d'inquiétude?" Je pense que pas un aménagiste forestier responsable n'oserait dire non. "Avons-nous un problème d'aménagement au Nouveau-Brunswick?" Je n'en ai pas la moindre idée. Je pense que c'est précisément le maillon manquant de la chaîne. Si un traitement quelconque a une incidence sur la productivité d'un site, nous devons l'analyser à fond et prendre des décisions avisées.

Mr. Chairman, I think that is about all I have to say. I would like to make a plug in closing if I could. Taking an opportunity here to repeat what Gerrit van Raalte mentioned earlier today: there is another conference scheduled in this room on March 27-28, dealing with the management of natural regeneration and we have placed registration forms and programs outside the door. I certainly encourage you to pick one up and try your best to attend the conference because I think it will be worthwhile. Thank You.

Monsieur le président, je pense que c'est tout ce que j'ai à dire. J'aimerais avant de terminer faire un peu de réclame et répéter ce que Gerrit a mentionné plus tôt aujourd'hui. Une autre conférence est prévue dans cette salle les 27 et 28 mars prochains et elle aura trait à la gestion des modes de régénération naturelle; nous avons placé des formulaires d'inscription et des programmes derrière la porte. Je vous incite vivement à en ramasser un et à faire de votre mieux pour assister à cette conférence et je puis vous assurer que vous ne le regretterez pas. Merci.

Gerrit van Raalte:

Thank you very much Erik for very matter-of-factly summing up the proceedings. I certainly couldn't have done it. But one thing that becomes clear from my

Gerrit van Raalte :

Merci beaucoup Erik d'avoir si bien résumé la journée en vous limitant aux faits. Je n'aurais pas pu faire mieux. Je tiens seulement à ajouter que comme

perspective is that we need a lot more information as you have pointed out and we're in the process of getting that. There are a whole lot of people studying this whole process. Next year, we will have a small lysimeter study established on P.E.I. to look at some of the problems with white spruce. Last week, we discussed setting up a lysimeter study in Nova Scotia with Scott Paper and, depending on funding, which looks good, we will probably have a couple of installations there. On the studies that Taumey has, we are going to let the company plant and do whatever cultural practices they are going to do over time. So that, indeed, we can hopefully make the link between what happens to the site and what happens to growth on the site, given those conditions. So we are in the process of trying to establish those links. I want to thank you all for coming. We have had a great response to this particular topic. We were a little flabbergasted when we started organizing. We thought initially that we would get about 20 people together and we would have a little chat about this and it turned out we had about 150 with representation right across the board from all kinds of constituencies. So we are very pleased that we came. Thank you very much.

vous l'avez souligné, nous avons besoin de beaucoup plus de données et c'est précisément ce à quoi nous nous employons. Je sais que beaucoup de gens étudient ce processus. L'an prochain, nous entreprendrons une petite étude lysimétrique sur l'Île-du-Prince-Édouard pour analyser certains des problèmes propres à l'épinette blanche. La semaine dernière, nous avons parlé avec la société Scott Paper de l'installation d'un lysimètre en Nouvelle-Écosse et selon les crédits que nous recevrons, deux autres lysimètres seront installés dans cette province. À propos des études de Taumey, nous laisserons à la compagnie le soin de planter et de procéder aux cultures qu'elle veut. Ainsi, je l'espère, nous arriverons à savoir ce qu'il advient du site et de la croissance sur ces sites, compte tenu des conditions qui y prévalent. Nous sommes donc en passe de trouver les maillons manquants. Je tiens à vous remercier tous d'être venus. La journée a été des plus fructueuses. Nous avons été un peu étonnés lorsque nous avons commencé l'organisation de cette journée. Nous pensions au début que nous serions une vingtaine de personnes à discuter amicalement de la question et il s'avère que nous avons eu 150 participants venus des quatre coins. Nous sommes enchantés que vous soyez venus si nombreux et je vous en remercie du fond du coeur.

ENFOR

ENFOR (ENergy from the FORest) is a contract research and development (R & D) program managed by Forestry Canada, Government of Canada. It is aimed at generating sufficient knowledge and technology to realize a marked increase in the contribution of forest biomass to Canada's energy supply. The program was initiated in 1978 as part of a federal interdepartmental initiative to develop renewable energy sources.

The ENFOR program deals with biomass supply matters such as inventory, growth, harvesting, processing, transportation, environmental impacts, and socio-economic impacts and constraints. A technical committee oversees the program, developing priorities, assessing proposals, and making recommendations. Approved projects are generally carried out under contract.

General information on the operation of the ENFOR program, including the preparation and submission of R & D proposals, is available upon request from:

The ENFOR Secretatiat
Forestry Canada
Government of Canada
19th Floor, Place Vincent Massey
361 St. Joseph Blvd.
Hull, Quebec
K1A 1G5

This report is based on ENFOR Project P-337, which was carried out under contract by S.M. Maliondo of Fredericton (DSS File No. 15SC 01K26-7-0028).

ENFOR

ENFOR (ÉNergie de la FORêt) est un programme de recherche-développement (R.-D.) à contrat dirigé par Forêts Canada. Il vise à favoriser l'acquisition des connaissances et des techniques nécessaires à l'accroissement marqué de l'apport de la biomasse forestière aux ressources énergétiques du Canada. Le programme a été établi en 1978 dans le cadre d'une initiative interministérielle fédérale en vue d'exploiter des sources d'énergie renouvelables.

Le programme ENFOR porte sur des questions d'approvisionnement en biomasse, comme l'inventaire des ressources, la croissance, la récolte, la transformation, le transport, les répercussions sur l'environnement ainsi que les effets et contraintes socio-économiques. Il est supervisé par un comité technique qui élabore les priorités, évalue les propositions et soumet ses recommandations. Les projets approuvés sont généralement effectués à contrat.

Pour obtenir des information d'order général sur le fonctionnement du programme ENFOR ainsi que sur la préparation et la soumission de projets de R.-D., s'adresser au:

Secrétariat du programmme ENFOR
Forêts Canada
19^{e} étage, Place Vincent Massey
351, boulevard Saint-Joseph
Hull (Québec)
K1A 1G5

Ce rapport découle du projet ENFOR P-337 qui a eté réalisé suivant le contrat confié à S.M. Maliondo de Fredericton (dossier MAS 15SC 01K26-7-0028).